ISSN 2788-7995 (Print)
ISSN 3006-0524 (Online)

ШӘКӘРІМ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК УНИВЕРСИТЕТА ШАКАРИМА ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

BULLETIN OF SHAKARIM UNIVERSITY TECHNICAL SCIENCES

SCIENTIFIC JOURNAL

https://vestnik.tech.shakarim.kz

№3 (19)
2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

SHAKARIM UNIVERSITY

1934

ШӘКӘРІМ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ ТЕХНИКА ҒЫЛЫМДАР

ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК УНИВЕРСИТЕТА ШАКАРИМА ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

BULLETIN OF SHAKARIM UNIVERSITY TECHNICAL SCIENCES

SCIENTIFIC JOURNAL

№ 3 (19) 2025

Семей, 2025

Ғылыми журнал
«Шәкәрім Университетінің Хабаршысы.
Техникалық ғылымдар сериясы»

№ 3 (19) 2025

Меншік иесі:
«Шәкәрім университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы

1997 жылдан бастап шығарылады
Кезеңділігі: тоқсан сайын (жылына 4 рет)

Журнал Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің
Ақпарат комитетінде тіркелген
Есепке қою туралы куәлік № KZ93VPY00033663 19.03.2021 ж.

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА

Бас редактор – **Есимбеков Жанибек Серикбекович**, PhD (Қазақстан, Семей қ.)

Амирханов Кумарбек Жунусбекович – техника ғылымдарының докторы, «Шәкәрім университеті» КЕАҚ профессоры (Қазақстан, Семей қ.)
Виелеба Войтек – техника ғылымдарының докторы, Вроцлав ғылым және технология университетінің профессоры (Польша, Вроцлав қ.)
Дворцевой Александр Игоревич – техника ғылымдарының кандидаты, Новосібір мемлекеттік техникалық университетінің доценті (Ресей, Новосібір қ.)
Какимов Айтбек Калиевич – техника ғылымдарының докторы, «Шәкәрім университеті» КЕАҚ профессоры (Қазақстан, Семей қ.)
Лобасенко Борис Анатольевич – техника ғылымдарының докторы, «Кемерово мемлекеттік университетінің» профессоры, Жоғары білім берудің федералды мемлекеттік бюджеттік білім беру мекемесі (Ресей, Кемерово қ.)
Майоров Александр Альбертович – техника ғылымдарының докторы, федералдық Алтай агробиотехнологиялық ғылыми орталығының профессоры (Сібір ірімшік өндіру саласындағы ғылыми зерттеу институты) (Ресей, Барнаул қ.)
Ребезов Максим Борисович – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, Оңтүстік-Орал мемлекеттік университетінің профессоры (Ресей, Челябі қ.)
Узаков Ясин Маликович – техника ғылымдарының докторы, Алматы технологиялық университетінің профессоры, (Қазақстан, Алматы қ.)
Хуторянский Виталий Викторович – профессор, Рединг университеті (Ұлыбритания, Рединг қ.)
Чоманов Уришбай Чоманович – техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ҒЗИ (Қазақстан, Алматы қ.)
Драгоев Стефан Георгиев – техника ғылымдарының докторы, Тағамдық технологиялар университетінің профессоры, Болгар Ғылым академиясының корреспондент-мүшес (Болгария, Пловдив қ.)
Налок Дута – PhD, Вашингтон Университеті (АҚШ, Вашингтон)
Оразбаев Батыр Бидайбекович – техника ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің профессоры (Қазақстан, Астана қ.)
Григорьева Светлана Владимировна – PhD, «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің» КЕАҚ, қауымдастырылған профессоры (Қазақстан, Өскемен қ.)
Чектыбаев Бауржан Жамбулович – PhD, ҚР ҰЯО «Атом Энергиясы Институты» филиалының Термоядролық зерттеулер бөлімінің басшысы (Қазақстан, Курчатов қ.)
Витюк Владимир Анатольевич – ф/м.ғ.к., қауымдастырылған профессор, PhD, ҚР ҰЯО РМК бас директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Қазақстан, Курчатов қ.)
Нұғман Ерік Зейнелұлы – PhD, Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және машина жасау институты, Satbayev University (Қазақстан, Алматы қ.)
Ибрагимова Зауре Асилбековна – PhD, М. Әуезова атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, доценті (Қазақстан, Шымкент қ.)

Жазылу индексі: 76172

Редакция құрамы:
Евлампиева Е.П. – редактор
Семейская З.Т. – редактор

Редакцияның мекен-жайы:
071412, Абай облысы, Семей қ., Глинки к-сі, 20а, каб. 506
Байланыс телефоны: 8(7222)31-32-49
Электрондық пошта: rio@shakarim.kz

Қолжазбалар қайтарылмайды. Авторлардың пікірлері редакцияның көзқарасымен сәйкес келмеуі мүмкін. Материалдарды басқа басылымдарда пайдалануға редакцияның жазбаша келісімімен ғана рұқсат етіледі. Ұсынылған материалдардың дұрыстығына автор жауапты болады. Журналға сілтеме міндетті.

© «Шәкәрім университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғам, 2025

Научный журнал
«Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки»

№ 3 (19) 2025

Собственник:
Некоммерческое акционерное общество «Шәкәрім университет»

Издается с 1997 года
Периодичность: ежеквартально (4 раза в год)

Журнал зарегистрирован в Комитете информации Министерства информации
и общественного развития Республики Казахстан
Свидетельство о постановке на учет № KZ93VPY00033663 от 19.03.2021 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – **Есимбеков Жанибек Серикбекович,** PhD (Казахстан, г. Семей)

Амирханов Кумарбек Жунусбекович – доктор технических наук, профессор, НАО «Шәкәрім университет» (Казахстан, г. Семей)
Виелеба Войтек – доктор технических наук, профессор, Вроцлавский университет науки и технологии (Польша, г. Вроцлав)
Дворцевой Александр Игоревич – кандидат технических наук, доцент, Новосибирский государственный технический университет (Россия, г. Новосибирск)
Какимов Айтбек Калиевич – доктор технических наук, профессор, НАО «Шәкәрім университет» (Казахстан, г. Семей)
Лобасенко Борис Анатольевич – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет» (Россия, г. Кемерово)
Майоров Александр Альбертович – доктор технических наук, профессор, Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий (отдел Сибирского научно-исследовательскиого института сыроделия) (Россия, г. Барнаул)
Ребезов Максим Борисович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет (Россия, г. Челябинск)
Узаков Ясин Маликович – доктор технических наук, профессор, Алматинский технологический университет (Казахстан, г. Алматы)
Хуторянский Виталий Викторович – профессор, Университет Рединга (Великобритания, г. Рединг)
Чоманов Уришбай Чоманович – доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности (Казахстан, г. Алматы)
Драгоев Стефан Георгиев – доктор технических наук, профессор, Университет пищевых технологий, член-корреспондент Болгарской Академии наук (Болгария, г. Пловдив)
Налок Дута – PhD, Университет штата Вашингтон (США, Вашингтон)
Оразбаев Батыр Бидайбекович – доктор технических наук, профессор Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева (Казахстан, г. Астана)
Григорьева Светлана Владимировна – PhD, ассоциированный профессор НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева» (Казахстан, г. Усть-Каменогорск)
Чектыбаев Бауржан Жамбулович – PhD, Филиал Института атомной энергии РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан (Казахстан, г. Курчатов)
Витюк Владимир Анатольевич – кандидат физико-математических наук, PhD, ассоциированный профессор, РГП «Национальный ядерный центр Республики Казахстан» (Казахстан, г. Курчатов)
Нұғман Ерік Зейнелұлы – PhD, Институт энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева, Satbayev University (Казахстан, г. Алматы)
Ибрагимова Зауре Асилбековна –PhD, доцент Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова (Казахстан, г. Шымкент)

Подписной индекс: 76172

Технические редакторы:
Евлампиева Е.П.
Семейская З.Т.

Адрес редакции:
071412, область Абай, г. Семей, ул. Глинки, 20А, каб. 506
Контакты: телефон: 8(7222)31-32-49
Электронная почта: rio@ shakarim.kz

Рукописи не возвращаются. Мнения авторов могут не совпадать с точкой зрения редакции. Использование материалов в других изданиях допускается только с письменного согласия редакции. За достоверность представленных материалов ответственность несет автор. Ссылка на журнал обязательна.

© Некоммерческое акционерное общество «Шәкәрім университет», 2025

Scientific journal
«Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences»

№ 3 (19) 2025

Owner:
Non-profit Joint Stock Company «Shakarim University»

Published since 1997
Frequency: quarterly (4 times a year)

The journal is registered with the Information Committee of the Ministry of Information and Public Development of the Republic of Kazakhstan
Certificate of registration no. KZ93VPY00033663 dated 03/19/2021

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief – Yessimbekov Zhanibek, PhD (Kazakhstan, Semey)

Amirkhanov Kumarbek – Doctor of Technical Sciences, Professor of the NJC «Shakarim University» (Kazakhstan, Semey)
Wieleba Wojciech – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Wroclaw University of Science and Technology (Poland, Wroclaw)
Dvortsevoy Alexander Igorevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Novosibirsk State Technical University (Russia, Novosibirsk)
Kakimov Aitbek – Doctor of Technical Sciences, Professor of the NJC «Shakarim University», (Kazakhstan, Semey)
Lobasenko Boris – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kemerovo State University» (Russia, Kemerovo)
Mayorov Alexander – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies (Department of the Siberian Research Institute of Cheese Making) (Russia, Barnaul)
Rebezov Maxim – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of South Ural State University (Russia, Chelyabinsk)
Uzakov Yassin – Doctor of Technical Sciences, Professor of Almaty Technological University (Kazakhstan, Almaty)
Khutoryanskiy Vitaly – Professor at the University of Reading (Great Britain, Reading)
Chomanov Urishbai – Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Head of the Department of the Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry (Kazakhstan, Almaty)
Dragoev Stefan – Doctor of Technical Sciences, Professor of Engineering at the University of Food Technologies, Corresponding Member of the Bulgarian Academy of Sciences (Bulgaria, Plovdiv)
Nalok Dutta – PhD, Washington State University (USA, Washington)
Orazbayev Batyr – Doctor of Technical Sciences, Professor of L.N. Gumilyov Eurasian National University (Kazakhstan, Astana)
Grigorieva Svetlana – PhD, Associate Professor, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk)
Chektybayev Baurzhan – PhD, Head of Thermonuclear Research Department Branch of Atomic Energy Institute RSE NNC RK (Kazakhstan, Kurchatov)
Vityuk Vladimir – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, PhD, Associate Professor, Deputy Director General for Science, RSE NNC RK (Kazakhstan, Kurchatov)
Nugman Yerik – PhD, A. Burkitbayev Institute of Energy and Mechanical Engineering, Satbayev University (Kazakhstan, Almaty)
Ibrahimova Zaure – PhD, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University (Kazakhstan, Shymkent)

Subscription index: 76172

Editorial staff:
Yevlampiyeva Y. – editor
Semeyskaya Z. – editor

Editorial Office address:
071412, Abai region, Semey,
Glinka str., 20A, room 506
Contacts: phone: +7 (7222) 31-32-49
Email address: rio@ shakarim.kz

Manuscripts are not returned. The opinions of the authors may not coincide with the point of view of the editors. The use of materials in other publications is allowed only with the written consent of the editorial board. The author is responsible for the accuracy of the submitted materials. A link to the journal is required.

© Non-profit Joint Stock Company «Shakarim University», 2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-1

BY 4.0
Check for updates

IRSTI 59.35.29

Y.A. Tuleshov[1], A. Nazyrova[1], A.A. Tuyakbayev[1], Zh.N. Issabekov*[1]
[1]Satbayev University,
050013, Republic of Kazakhstan, Almaty 22 Satbayev Street
*e-mail: *z.issabekov@satbayev.university

ANALYSIS OF HYDROGEN GAS DETECTION SENSORS

Annotation: *The hydrogen gas sensor plays an important role in ensuring the safety of various industries that are heavily dependent on high-pressure hydrogen gas. A new type of hydrogen sensors, solid electrolyte, metal oxide semiconductor and other types are described. The gas sensor for hydrogen has the characteristics of the target gas (chemically active, good thermal conductivity, low viscosity, etc.), so it is also a sensor with the most detection principle compared to other combustible gases. Therefore, there are many other sensors at the level of practical application or in development.Experiments are currently underway on high-pressure hydrogen gas leaks and large amounts of hydrogen gas leaks, and some of them are obvious to the general public. There are several methods for detecting hydrogen gas, but it is not possible to use the infrared method, which has made significant technological advances in recent years, because hydrogen is considered a monoatomic gas, unlike methane. There are three types of hydrogen sensors included in practical use for safety reasons: they are catalytic combustion, semiconductor type and gas thermal conductor type. There are several types of semiconductor sensors, but here we will analyze hot-wire semiconductor sensors. In particular, it is characteristic of a high reaction with a wide concentration range and the like.*

Key words: *hydrogen sensor, gas sensor, catalytic combustion, thermal wire semiconductor, DPP.*

Introduction

For the widespread distribution of hydrogen energy, including household fuel cells, it is necessary to ensure its safety, and gas sensors play an important role in this. In this scientific work, hydrogen gas sensors and relatively new sensors were analyzed. Hydrogen gases are very light compared to other combustible gases, and have a high probability of leakage. Ensuring safety is a prerequisite, so a hydrogen gas detection sensor is required. Methane is a compressed natural gas (CNG,20 mpa) and has applications in many industries. Of course, safety issues must be taken into account in practical application. Experiments are currently underway on high-pressure hydrogen gas leaks and large amounts of hydrogen gas leaks, and some of them are obvious to the general public [1]. There are several methods for detecting hydrogen gas, but it is not possible to use the infrared method, which has made significant technological advances in recent years, because hydrogen is considered a monoatomic gas, unlike methane. There are three types of hydrogen sensors included in practical use for safety reasons: they are catalytic combustion, semiconductor type and gas thermal conductor type. There are several types of semiconductor sensors, but here we will analyze hot-wire semiconductor sensors.

Materials and methods

The characteristics of the three sensors in hydrogen gas detection are shown below. Catalytic combustion sensor: combustible gas PT, PD. This sensor uses the combustion heat generated by catalytic combustion. In the case of flammable gases such as methane and propane, the sensor temperature must be 300 °C or higher. In this temperature range, the sensor output will be a diffusely limited area depending on the gas concentration) and can be used permanently. However, if the gas is limited to hydrogen, it is clear that it can be used at low temperatures (between 100℃-200℃). In addition, selectivity in relation to other gases can be achieved, and use in this temperature range may increase in the future. Semiconductor sensor: this sensor uses a change in electrical conductivity due to adsorption of combustible gas on the surface of the metal oxide semiconductor. The output signal is logarithmic, not linear, relative to the gas concentration. In other words, it is very sensitive at low concentrations. Using this feature, he made many advances in the detection of low

concentrations, which is not possible when using catalytic burning methods. Until now, there was no sensor that would be selective to hydrogen gas and could be used permanently [2-4].

A semiconductor wire sensor with a silicon dioxide film formed on the surface of a semiconductor has a high selectivity of hydrogen (a semiconductor sensor with a thermal selective wire). In other words, the silica membrane acts as a crystalline aluminosilicates that allows only hydrogen to pass through. Figure 1 shows the characteristics of hydrogen gas and the detection concentration range of each sensor.

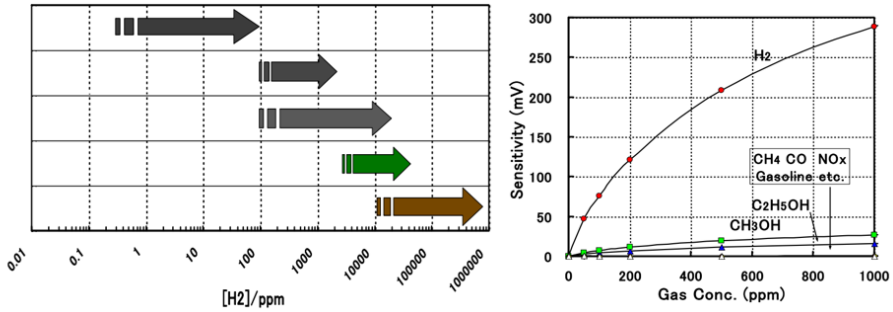


Figure 1 – Different sensor detection concentration ranges (left) and output characteristics of hydrogen selective semiconductor thermal sensor (right)

Sensors that use reactions with metals such as hydrogen at room temperature can be expected to have high selectivity over hydrogen, as they do not react with gases other than hydrogen.

Thermoelectric hydrogen sensor – The detection principle is the same, it is a catalytic combustion sensor. Thermocouples are used to determine the temperature difference. (Sage, a new type of sensor using a thin film, was introduced. As mentioned above, it is important to note that hydrogen gas is catalytically oxidized even at relatively low temperatures, as well as the technology of creating a thin film is used in the sensor configuration. The technology used in MEMS, the feature is the selectivity on hydrogen, can be operated at 100°C temperature (low power consumption) low, detection range (100~3%). Figure 2 shows the scheme of work.

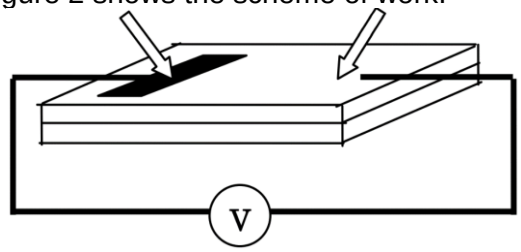


Figure 2 – The concept of operation of a thermoelectric hydrogen sensor

Solid electrolyte hydrogen sensor. Zirconium oxide (ZrO_2) with oxygen ions as a carrier yttrium oxide (Y_2O_3) is added to stabilized zirconium dioxide (YSZ) which is widely used as an oxygen sensor. Oxygen sensors use a" gas ion electrode ", which uses a gas of constant concentration (oxygen) as a comparison electrode, and an electromotive force in the equilibrium state is used (Nernst equation) [5].

High temperature is characterized by stability even at 600℃. There will also be the use of this function as a sensor to detect hydrogen, carbon monoxide, where the proposed hydrogen sensor can be used as a comparison electrode.

When measuring the concentration of oxygen in equilibrium, one electrode is used. The goal of this is to get the potential at the same time and it should be as reversible as possible. However, if, for some reason, irreversibility occurs in the electrode (reaction, etc.), an «potential opportunity» occurs. However, if this is changed, flammable gases in the air can be detected in an unbalanced way. The hydrogen sensor presented here uses stabilized zirconium dioxide and uses the equilibrium property described above [4-6]. Hydrogen gas is adsorbed oxygen present at both poles. O2 – 2 (fig. 3). Oxidation reactions occur on both electrodes, but due to the difference between the anode and the cathode electrodes, the anode prevails.

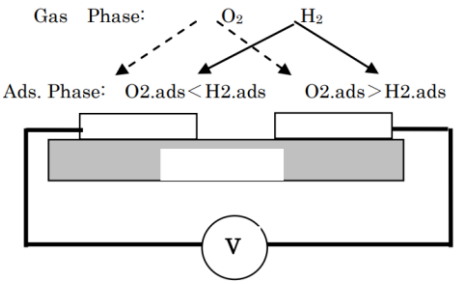


Figure 3 – The principle of operation of a solid electrolyte hydrogen sensor

More oxidation reactions occur at the electrode than at the cathode. Below are the main reactions on two electrodes in the case of hydrogen [3].

$$\text{Anode: } H_2 + \frac{1}{2} * O^{2-}_{2(ad)} \rightarrow H_2O + 2 * e^- \quad (1)$$

$$\text{Kathode: } \frac{1}{2} * O_2 + 2 * e^- \rightarrow \frac{1}{2} * O^{2-}_{2(ad)} \quad (2)$$

Full reaction: $H_2 + \frac{1}{2} * O_2 \rightarrow H_2O$

This reaction generates the following voltage on both electrodes (depending on the logarithmic concentration):

$$U_S = \frac{\Re * T_S}{n * F} * \ln \frac{C_{H2(ad,K)}}{C_{H2(ad,A)}} \quad (3)$$

Here R: Gas Constant, T_S: absolute sensor temperature, F: Faraday constant.

The peculiarity of this sensor is that it is sensitive to hydrogen gas. The answer is very fast (90% in a few seconds). However, hydrogen gas has no selectivity. It is also used as an electrolyte material for the hydrogen sensor using a conductive solid electrolyte is also being developed. You can see the sensor that uses the reaction between the 4th hydrogen gas and the metal. Here we study hydrogen-specific PDDS. Explore sensors that use reactions with metals such as metals, and this reaction can be divided into two types.

1.Metal occlusion: PDD is in atomic ratio at room temperature 0.6 can store twice as much hydrogen. This occlusion causes changes in electrical resistance, weight, and volume, and can be a sensor that uses these changes. For example, an example of a hydrogen sensor using the cantilever Principle.

2.dissociative adsorption in metal: using the phenomenon of dissociative adsorption on metal surfaces such as (H2->H+H). In this case, the effect of adsorbed atomic hydrogen is often used. For example, an electric field change via hydrogen (electric dipole) is used at the metal-insulator interface. A typical example of a MOSFET is a hydrogen sensor. An attempt was made to apply transistor technology (device technology) formed on the substrate to gas sensors. However, it is not practical as a gas sensor.

Application sensor it is clear that the hydrogen sensor is triggered based on this principle and technology (fig. 4). Since it is based on a FET (field effect transistor) made on a P-type Si substrate, it is called a MOSFET-type hydrogen sensor. (MOSMetal Oxide Semiconductor). The heater and temperature sensor are located on one chip with the sensor. The chip size is about 1.5×1.5 mm2, and the operating temperature is about 140°C, and the power consumption is less than 100 mW.

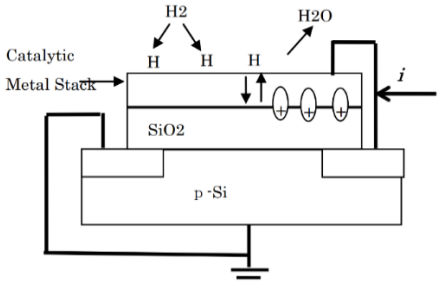


Figure 4 – Schematic diagram of the operation of a hydrogen sensor of the MOSFET type

The sensor sensing principle is based on the working principle of the field effect transistor (bipolar coupling mode). A catalytic metal stack is used as a gate for the device. Hydrogen gas in the atmosphere replaces the characteristic curve I-V of the device, as shown in Figure 5. During direct current operation, the concentration of hydrogen gas can be measured as the voltage change (ΔV) of the device.

The chemical reaction of hydrogen gas can be described as follows. Hydrogen gas is adsorbed on the surface of the metal layer of the catalyst and decomposed into hydrogen atoms (dissociation adsorption). The hydrogen atom passes through the metal layer of the catalyst, reaches the interface of the metal insulating layer, and forms an electric dipole layer at the interface. This results in a decrease in the potential of the dipole boundary layer. This field effect has the same effect as the change in the gate voltage on the transistor (the shift of the I-V curve in Figure 5). The actual reaction site of hydrogen gas and the device is the boundary layer, where only hydrogen atoms reach, resulting in selectivity. The reverse reaction is the transfer of hydrogen atoms from the boundary layer to the surface of the metal layer and the formation of water molecules. (2H+O->H2O), which is. The hydrogen sensor operates at low temperatures using a reaction with a metal as described above, the selectivity of hydrogen, in which there are many actions, such as the variety of detection signals, excellent characteristics have been performed. Next we will introduce two «hydrogen sensor that receives protons» with the characteristics of interaction with hydrogen and «photosensitive sensor for measuring hydrogen concentration» with the characteristics of signal detection.

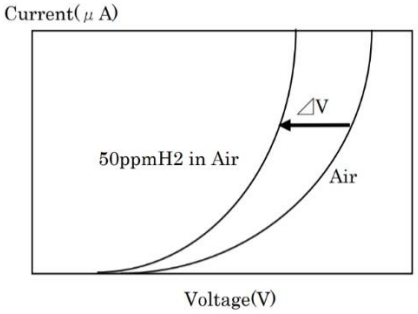


Figure 5 – Characteristics of MOSFET type hydrogen sensor V-I

Results and Discussion

Hydrogen intake sensor. Pyrrolopyrrol pigment (DPP). This pigment is insoluble in all organic solvents and is highly light and heat resistant. DPP is a pyridyl derivative of DPP. It has been found that the amount of electrical resistance of a gas is significantly reduced by protonation, and this phenomenon can be used as a gas sensor [5,7]. The design of the sensor is shown in Figure 6 (a). In the glass substrate, Naito (indium and tin oxide) comb electrode and layer (vacuum evaporation 300~400 Å). As a hydrogen protonation catalyst, PD particles are sprayed onto the comb electrode. Shown in Figure 6 (B).

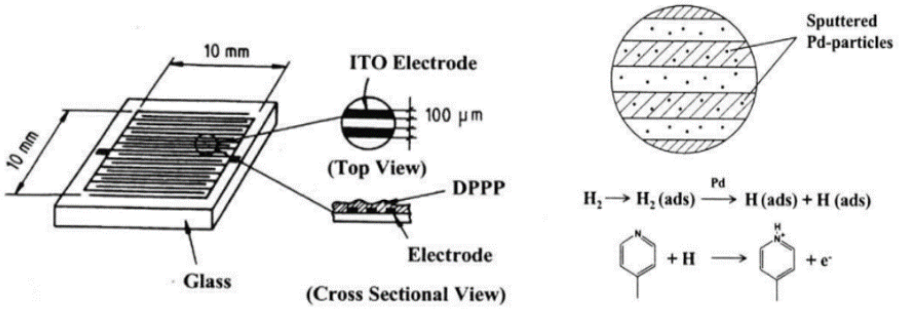


Figure 6 – the structure and working mechanism of the Proton receiving hydrogen gas sensor of the Working Mechanism

Hydrogen molecules are physically embedded on the surface of the DPP, diffused into the DPP, and protonated by the PD catalyst to reduce the resistance value of the DPP. The peculiarity is that it works at normal temperatures. The detection concentration range will be from 500 ppm to 100% of its width.

Photosensitive sensor for measuring hydrogen concentration. The hydrogen sensor described above uses hydrogen dissociation adsorption, which is designed to electrically detect current (electrical resistance, potential, etc.). The sensor included here is a light-sensitive hydrogen sensor that detects hydrogen through an optical method.

$PdWO_3$ was known to react with hydrogen gas, giving it a blue color. A photosensitive sensor for measuring hydrogen concentration consisting of thin PD films [8-10].

However, this suggests that the reaction and return are faster than conventional hydrogen sensors of this type, and that it is also excellent in its repeatability.

Conclusions

In this work, what is at the stage of practical application as a hydrogen gas sensor and some new sensors are introduced. Currently, a research and development project is being implemented in the direction of developing key technologies for the safe use of hydrogen.as presented in this article, hydrogen is the basis for the implementation of energy distribution regulation. Based on this, we conducted an analysis that high-pressure gas for hydrogen sensors provides safety.

In particular, it is characteristic of a high reaction with a wide concentration range and the like. The gas sensor for hydrogen has the characteristics of the target gas (chemically active, good thermal conductivity, low viscosity, etc.), so it is also a sensor with the most detection principle compared to other combustible gases. Therefore, there are many other sensors at the level of practical application or in development. There is also the possibility of the emergence of sensors based on completely new ideas.

References

1. EN 50402:2008. Electrical apparatus for the detection and measurement of combustible or toxic gases or vapors or of oxygen e requirements on the functional safety of fixed gas detection systems.
2. A high-sensitive room-temperature hydrogen gas sensor based on oblique and vertical ZnO nanorad arrays / J.J. Hassan et al // Sens Actuators B: Chemical. – 2013. – № 176. – P. 360-367. https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.09.081.
3. A reliable, sensitive and fast optical fiber hydrogen sensor based on surface plasmon resonance / C. Perrotton et al // Optics Express. – 2013. – № 21. – P. 382-90. https://doi.org/10.1364/OE.21.000382.
4. Advances in materials for room temperature hydrogen sensors / S.K. Arya et al // Analyst. – 2012. – № 137. – P. 2743-56. https://doi.org/10.1039/C2AN16029C.
5. Advancements in Hydrogen Gas Leakage Detection Sensor Technologies and Safety Measures // Menon et al // Clean Energy. – 2025. https://doi.org/10.1093/ce/zkae122.
6. Performance Investigation of Novel Pt/Pd-SiO2 Junctionless FinFET as a High Sensitive Hydrogen Gas Sensor for Industrial Applications / H.D. Sehgal et al // IEEE Sensors Journal. – 2021. – № 21(12). – P. 13356-13363. https://doi.org/10.1109/jsen.2021.3067801.
7. Han. Review and new trends of hydrogen gas sensor technologies / Han, Sang Do // Journal of Sensor Science and Technology. – 2010. – № 19. – P. 67-86. https://doi.org/10.5369/JSST.2010.19.2.067.
8. Eveloy V. A review of projected power-to-gas deployment scenarios / V. Eveloy, T. Gebreegziabher // Energies. – 2018. – № 11 (7). http://dx.doi.org/10.3390/en11071824.
9. Revankar S.T. Chapter four – nuclear hydrogen production / H. Bindra, S. Revankar // Storage and hybridization of nuclear energy. Academic Press. – 2019. – P. 49-117. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-813975- 2.00004-1.
10. A review of hydrogen direct injection for internal combustion engines: Towards carbon-free combustion / H.L. Yip et al // Appl Sci. – 2019. – № 9(22). http://dx.doi.org/10.3390/app9224842.

Е.А. Тулешов[1], А. Назырова[1], А.А. Туякбаев[1], Ж.Н. Исабеков*[1]
[1]Satbayev University,
050013, Республика Казахстан. г. Алматы. ул. Сатпаева, 22
*e-mail: z.issabekov@satbayev.university

АНАЛИЗ ДАТЧИКОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ВОДОРОДА

Газообразный водородный датчик играет важную роль в обеспечении безопасности различных отраслей промышленности, которые в значительной степени зависят от газообразного водорода высокого давления. Описаны датчики водорода нового типа,

твердоэлектролитные, металло-оксидные полупроводниковые и других типов. Газовый датчик для определения водорода обладает характеристиками целевого газа (химическая активность, хорошая теплопроводность, низкая вязкость и т.д.), поэтому он также является датчиком с наиболее эффективным принципом обнаружения по сравнению с другими горючими газами. Таким образом, существует множество других датчиков, находящихся на уровне практического применения или в стадии разработки. В настоящее время проводятся эксперименты по утечке газообразного водорода под высоким давлением и в больших количествах, и некоторые из них очевидны для широкой публики. Существует несколько методов обнаружения газообразного водорода, но использовать инфракрасный метод, который в последние годы значительно продвинулся в технологиях, невозможно, поскольку водород считается одноатомным газом, в отличие от метана. Из соображений безопасности на практике используются датчики водорода трех типов: каталитического горения, полупроводникового типа и типа газового теплопроводника. Существует несколько типов полупроводниковых датчиков, но здесь мы рассмотрим полупроводниковые датчики с термопроводом. В частности, это характерно для высокой реакции с широким диапазоном концентраций и тому подобного.

Ключевые слова: *Датчик водорода, датчик газа, каталитическое сгорание, полупроводниковый термопровод, DPP.*

Е.А. Тулешов[1], А. Назырова[1], А.А. Туякбаев [1], Ж.Н. Исабеков*[1]
[1]Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық Техникалық Зерттеу Университеті.
050013, Қазақстау Республикасы, Алматы қ. Сәтбаев к-сі, 22
*e-mail: z.issabekov@satbayev.university

СУТЕГІ ГАЗЫН АНЫҚТАУ ДАТЧИКТЕРІН ТАЛДАУ

Сутегі газының сенсоры жоғары қысымды сутегі газына қатты тәуелді әртүрлі салалардың қауіпсіздігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Сутегі датчиктерінің жаңа түрі, қатты электролит, металл оксидінің жартылай өткізгіші және басқа түрлері сипатталған. Сутегіге арналған газ датчигі мақсатты газдың сипаттамаларына ие (химиялық белсенді, жақсы жылу өткізгіштік, тұтқырлығы төмен және т.б.), сондықтан ол басқа жанғыш газдармен салыстырғанда ең көп анықтау принципі бар сенсор болып табылады. Сондықтан практикалық қолдану деңгейінде немесе әзірленуде көптеген басқа сенсорлар бар. Қазіргі уақытта жоғары қысымды сутегі газының ағуы және сутегі газының көп мөлшерде ағуы бойынша эксперименттер жүргізілуде, олардың кейбіреулері көпшілікке түсінікті. Сутегі газын анықтаудың бірнеше әдістері бар, бірақ соңғы жылдары айтарлықтай технологиялық жетістіктерге қол жеткізген инфрақызыл әдісті қолдану мүмкін емес, өйткені сутегі метаннан айырмашылығы моноатомды газ болып саналады. Қауіпсіздік мақсатында практикалық қолдануға енгізілген сутегі датчиктерінің үш түрі бар: олар каталитикалық жану, жартылай өткізгіш түрі және газ жылу өткізгіш түрі. Жартылай өткізгіш датчиктердің бірнеше түрі бар, бірақ мұнда біз ыстық сымды жартылай өткізгіш датчиктерді талдаймыз. Атап айтқанда, ол кең концентрация диапазоны бар жоғары реакцияға және сол сияқтыларға тән.

Түйін сөздер: *сутегі датчигі, газ датчигі, каталитикалық жану, жылу сымының жартылай өткізгіші, DPP.*

Information about the authors

Tuleshov Yerkebulan – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Robotics and Engineering Tools of Automation, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: y.tuleshov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9146-7137.

Aizhan Nazyrova – PhD, Senior Lecturer at the Department of Artificial Intelligence Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: nazyrova_aye_1@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9162-6791.

Altay Tuyakbayev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Robotics and Engineering Tools of Automation, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: a.tuyakbayev@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1246-5935.

Zhanibek Issabekov – PhD, Associate Professor of the Department of Robotics and Engineering Tools of Automation, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: z.issabekov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2900-8025.

Сведения об авторах

Еркебулан Амандыкович Тулешов – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Робототехники и технических средств автоматики», Satbayev University, г.Алматы, Казахстан; e-mail: y.tuleshov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9146-7137.

Айжан Есболовна Назырова – PhD, старший преподаватель кафедры «Технологий искусственного интеллекта», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Астана, Казахстан; e-mail: nazyrova_aye_1@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9162-6791.

Алтай Альшерович Туякбаев – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Робототехники и технических средств автоматики», Satbayev University, г. Алматы, Казахстан; e-mail: a.tuyakbayev@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1246-5935.

Жанибек Назарбекулы Исабеков – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Робототехники и технических средств автоматики», Satbayev University, г. Алматы, Казахстан; e-mail: z.issabekov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2900-8025.

Авторлар туралы мәліметтер

Еркебулан Амандыкович Тулешов – техникалық ғылымдар кандидаты, Роботты техника және автоматиканың техникалық құралдары кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан; e-mail: y.tuleshov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9146-7137.

Айжан Есболқызы Назырова – PhD, «Жасанды интеллект технологиялары» кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана қ., Қазақстан; e-mail: nazyrova_aye_1@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9162-6791.

Алтай Альшерович Туякбаев – техникалық ғылымдар кандидаты, Роботты техника және автоматиканың техникалық құралдары кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан; e-mail: a.tuyakbayev@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1246-5935.

Жанібек Назарбекұлы Исабеков – PhD, Роботты техника және автоматиканың техникалық құралдары кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан; e-mail: z.issabekov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2900-8025.

Received 01.04.2025
Revised 11.05.2025
Accepted 26.05.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-2

CC BY 4.0

Check for updates

МРНТИ: 28.23.19

Ж.Е. Байғараева*, Б.Т. Иманбек, А.К. Болтабоева, Д. Турмаханбет, Г.А. Амирханова
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
050040, Казахстан, Алматы, пр. Аль Фараби 71,
*e-mail: zhanel.baigarayeva@gmail.com

ИНТЕГРАЦИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ ПАЦИЕНТА И ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Аннотация: *В статье рассматриваются перспективы интеграции технологий Интернета вещей (IoT) и алгоритмов машинного обучения (МО) для создания интеллектуальной системы мониторинга качества воздуха. Дополнительно описывается модуль мониторинга физиологических показателей пациента (HR, HRV-метрики SDNN, RMSSD, LF/HF, дыхательная частота, SpO_2, АД), интегрированный в единую IoT-архитектуру и конвейер анализа данных. Представлен прототип с потоковой агрегацией медицинских и средовых сигналов, правилами раннего оповещения и сценарием совместной интерпретации параметров воздуха и состояния пациента. Основное внимание уделяется использованию IoT-сенсоров, методам обработки данных в реальном времени и прогнозированию загрязнения воздуха с помощью гибридных моделей МО, включая Random Forest, Gradient Boosting Machines и Long Short-Term Memory (LSTM). Подчеркивается значимость повышения чувствительности и надежности сенсоров с применением наноматериалов, таких как полианилин, графен и углеродные нанотрубки. Акцентируется важность защиты данных, энергоэффективности и устойчивости масштабируемых IoT-систем, а также их роль в снижении экологических рисков и поддержке концепции «умных городов». Рассматриваются пути интеграции таких систем в городскую инфраструктуру, включая решения для автоматизации анализа данных и визуализации. В статье также обсуждаются перспективы внедрения интеллектуальных систем мониторинга в промышленной и жилой инфраструктуре для*

повышения уровня экологического контроля. Особое внимание уделяется разработке моделей прогнозирования, которые учитывают сезонные и климатические изменения, влияющие на уровень загрязнения. Подчеркивается важность междисциплинарного подхода, объединяющего достижения в области IoT, нанотехнологий и машинного обучения, для решения задач устойчивого развития городов. Представленные результаты демонстрируют высокую эффективность и практическую применимость подхода для контроля загрязнения воздуха, улучшения здоровья населения, защиты окружающей среды и стимулирования устойчивого урбанистического развития.

Ключевые слова: *интернет вещей (IoT), машинное обучение, мониторинг качества воздуха, прогнозирование загрязнения, энергоэффективность, устойчивое развитие, Long Short-Term Memory (LSTM), системы SCADA.*

Введение

В последние десятилетия подходы к мониторингу качества воздуха значительно эволюционировали. Традиционные методы, полагающиеся на громоздкое оборудование, часто лишены способности обрабатывать данные в реальном времени, что ограничивает их эффективность в динамичной городской среде. Однако развитие технологий Интернета вещей (IoT) и машинного обучения (МО) кардинально изменило эту ситуацию. Сегодня IoT-сенсоры в сочетании с методами МО позволяют не только собирать данные в реальном времени, но и прогнозировать уровни загрязнения воздуха, улучшая управление качеством окружающей среды и создавая основу для принятия превентивных мер.

Исследования показывают, что применение IoT и МО в мониторинге воздуха имеет значительные преимущества. В работе [1] представлена IoT-система, которая использует алгоритмы МО для прогнозирования уровня загрязнения воздуха в реальном времени. Такой подход позволяет не только оперативно собирать данные, но и анализировать их для принятия обоснованных решений. В исследовании [2] использование IoT-сенсоров и алгоритмов МО продемонстрировало высокую точность прогнозирования индекса качества воздуха (AQI), что подтверждает эффективность таких технологий в реальных условиях. Ещё один интересный пример – исследование [3], в котором алгоритмы машинного обучения применялись с недорогими сенсорами для улучшения точности прогноза AQI, делая такие системы доступными для использования в масштабах городов. Особое внимание уделяется улучшению качества сенсоров. Например, в работе [4] исследуются способы повышения чувствительности датчиков за счёт использования полианилина (PANI) и наночастиц оксидов металлов (MOx), что позволило достичь высокой стабильности и точности. Подобные усовершенствования делают IoT-системы незаменимыми для мониторинга в условиях крупных мегаполисов. В исследовании [5] представлена IoT-система, позволяющая прогнозировать уровни загрязнения в реальном времени с учётом аналитики данных, что даёт возможность оперативно принимать меры. Дальнейшее развитие этого подхода было продемонстрировано в работе [6], где в модели дополнительно учитывались транспортные потоки и погодные условия для повышения точности прогнозов.

Использование наноматериалов также сыграло важную роль в усовершенствовании сенсоров. Например, в работе [7] описаны датчики на основе полианилина, которые продемонстрировали высокую проводимость и стабильность при мониторинге качества воздуха. Ещё больший эффект достигается при добавлении графена и углеродных нанотрубок, как отмечается в исследовании [8], что значительно повышает чувствительность и долговечность сенсоров. Безопасность передачи данных является ещё одним важным аспектом современных IoT-систем. В работе [9] обсуждается необходимость защиты данных, особенно для недорогих сенсоров, уязвимых к внешним угрозам. Авторы предлагают использовать методы криптографии и аутентификации, как это подробно описано в [10], что минимизирует риски утечек информации.

Методы машинного обучения продолжают развиваться, предлагая гибридные подходы к прогнозированию качества воздуха. Например, в исследовании [11] анализируются преимущества гибридных моделей перед традиционными методами, а в [12] показано, как Long Short-Term Memory (LSTM) в сочетании с рекуррентными нейронными сетями (RNN) позволяет достичь высокой точности при минимальных вычислительных затратах. С увеличением числа городов, применяющих IoT-технологии, возникает необходимость масштабируемых решений. В работе [13] описаны проблемы масштабируемости и предложены подходы для повышения энергоэффективности и чувствительности сенсоров. Оптимизация энергопотребления устройств остаётся ключевым вызовом, как это

подчёркивается в [14], где акцент сделан на долгосрочную надёжность систем. Интеграция IoT и МО не только улучшает мониторинг воздуха, но и способствует устойчивому развитию городов. Это особенно актуально в контексте концепции умных городов, где такие системы являются критически важными для здоровья населения и экологической стабильности, как отмечено в работе [15].

Разработка интеллектуальной системы мониторинга основывается на многоуровневой архитектуре, включающей уровень сбора данных, уровень передачи и связи, а также уровень обработки и анализа данных в облаке или на краевых узлах [16]. На первом уровне используются разнообразные носимые устройства и сенсоры, способные измерять такие параметры, как ЭКГ, пульс, давление, температура, уровень кислорода в крови и даже биомаркеры, характеризующие состояние пациента. Эти устройства, интегрированные в сеть IoMT (Internet of Medical Things), передают данные в режиме реального времени через защищенные беспроводные протоколы, такие как BLE, Zigbee, Wi-Fi или 5G [17].

На втором уровне осуществляется маршрутизация данных через шлюзы и узлы краевых вычислений (edge computing), что позволяет предварительно обрабатывать и фильтровать данные непосредственно вблизи источника их возникновения, снижая задержки и требования к пропускной способности сети [17]. Далее данные передаются на облачные платформы, где используются мощные вычислительные ресурсы для окончательной обработки, хранения и анализа с использованием алгоритмов машинного обучения [16]. Такая гибридная архитектура, сочетающая облачные и краевые вычисления, позволяет обеспечить масштабируемость системы, высокую скорость обработки и оперативное реагирование на изменения в параметрах здоровья пациентов [16].

Многоуровневая архитектура также предусматривает использование протоколов безопасности для защиты данных от несанкционированного доступа, включая шифрование информации и аутентификацию пользователей на уровне устройств и серверов [17, 18]. Дополнительные меры безопасности включают применение технологий блокчейна для обеспечения целостности и прозрачности данных, что является важным аспектом в медицинских приложениях [19].

Научная новизна работы заключается в (1) объединении потоков средовых параметров с физиологическими сигналами пациента в едином IoT–ML контуре, (2) разработке правил раннего оповещения, учитывающих совместные паттерны HRV и качества воздуха, (3) прототипе архитектуры с масштабируемым брокером сообщений, сквозной безопасностью и SCADA-интеграцией, (4) протоколе валидизации с метриками прогнозирования и оценкой неопределённости. Практический вклад – реплицируемая архитектура и сценарии применения в лабораторной и клинико-инженерной среде.

Архитектура системы

Система разработана на базе надежной серверной архитектуры, включающей Python API, SQL для хранения данных экспериментов и SCADA (система диспетчеризации и управления), обеспечивающую наблюдение и контроль лабораторных процессов в режиме реального времени. Ключевую роль в мониторинге окружающей среды играют IoT-устройства, такие как сенсоры температуры, влажности, давления и газоанализаторы (CO2, CO, TVOC). Медицинский подмодуль включает носимые и стационарные датчики: оптический PPG-сенсор (SpO_2, пульс, дыхательный ритм), ЭКГ-нагрудный ремень, тонометр. Потоки HR/HRV (SDNN, RMSSD, LF/HF), SpO_2 и АД поступают через BLE/HTTPS на шлюз, нормализуются (z-оценка, артефакт-фильтрация), синхронизируются по времени с CO_2/PM/температурой/влажностью и далее анализируются ML-конвейером (RF/GBM/LSTM) для выявления совместных паттернов и триггеров оповещения. Эти устройства собирают важнейшие данные, которые не только поддерживают стандарты безопасности, но и используются для обучения алгоритмов машинного обучения. Такие алгоритмы помогают прогнозировать изменения окружающей среды и параметры сенсоров, чтобы повысить их эффективность.

Цель архитектуры системы – обеспечить точность и устойчивость процессов, связанных с разработкой хеморезистивных датчиков. IoT-устройства непрерывно фиксируют данные о состоянии окружающей среды и химических реакциях, которые затем анализируются с помощью алгоритмов машинного обучения. Изменения температуры и влажности могут повлиять на такие процессы, как полимеризация полианилина или распределение наночастиц в композитах. Благодаря прогнозированию таких эффектов,

исследователи могут своевременно корректировать параметры работы, минимизируя вероятность отклонений.

Лабораторные процессы дистанционно управляется за счет системы SCADA, вследствие чего разработанная система является безопасной и легко управляемой. Система SCADA обеспечивает наблюдаемость и трассировку состояния оборудования, а также журналирование событий для технического и научного аудита. Этические и юридические аспекты: в текущей версии использованы технические и имитационные сценарии без вмешательства в клиническое принятие решений; персональные данные де-идентифицируются, доступ – по ролям, хранение – шифрование на диске и в канале. При расширении до пилотных наблюдений планируется письменное информированное согласие и одобрение локального этического комитета. Также система поддерживает соединение с глобальными серверами и мобильными приложениями, обеспечивая удобный удаленный доступ для совместной исследовательской деятельности.

На рисунке 1 представлена структура интеллектуальной лаборатории, объединяющая технологии IoT и машинного обучения. Центральным элементом системы выступает сервер, который связывает интеллектуальные устройства и сенсоры через коммуникационный узел на основе Node.js.

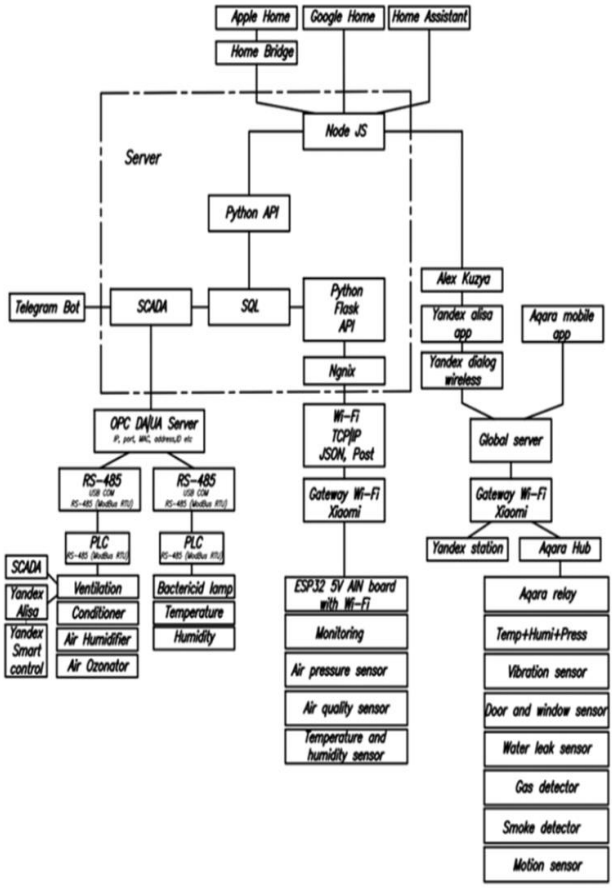


Рисунок 1 – Архитектура системы

Система также совместима с популярными платформами автоматизации, такими как Apple Home и Google Home, что упрощает взаимодействие с лабораторией через интуитивно понятные интерфейсы.

Предлагаемая архитектура включает интеллектуальные модули управления HVAC, которые играют ключевую роль в поддержании стабильных условий для выполнения химических процессов. Алгоритмы машинного обучения обрабатывают данные с газовых сенсоров и других параметров окружающей среды, оптимизируя работу HVAC. Это помогает избежать потенциальных опасностей и снизить энергозатраты. Постоянный контроль энергопотребления лаборатории и использование прогнозирующих возможностей алгоритмов машинного обучения обеспечивают высокую энергоэффективность без ущерба для комфорта и безопасности.

Результаты

В нашей интеллектуальной лаборатории интеграция технологий IoT и алгоритмов машинного обучения вышла на новый уровень благодаря созданию системы мониторинга, способной контролировать как параметры здоровья пациента, так и окружающую среду. Лаборатория дополнена интеллектуальными системами контроля электрооборудования, включая реле и разъёмы, что позволяет автоматически управлять нагрузкой, снижать энергопотребление и минимизировать риски отказов.

В медицинскую часть прототипа входят следующие сигналы: HR, HRV (SDNN, RMSSD, LF/HF), дыхательная частота, SpO_2, артериальное давление. Реализованы два сценария: (S1) раннее оповещение о перегрузке автономной регуляции при сочетании повышения CO_2/TVOC и сдвига HRV-профиля; (S2) адаптивное управление вентиляцией и персональными уведомлениями при обнаружении устойчивых корреляций между микроклиматом и снижением показателей SpO_2/вариабельности ритма. Веб-панель отображает согласованные временные ряды и маркеры событий.

В рамках проведённого исследования была разработана и внедрена интеллектуальная система мониторинга, объединяющая технологии Интернета вещей (IoT), алгоритмы машинного обучения и системы SCADA. Основной целью работы стало создание комплексного подхода к сбору, обработке и анализу данных, направленного на обеспечение точного контроля параметров здоровья пациента и факторов окружающей среды в режиме реального времени. Интеграция SCADA позволила осуществить эффективный мониторинг и удалённое управление всеми компонентами системы, обеспечивая надежность и стабильность работы. Научная и технологическая основа проекта базируется на применении современных сенсорных технологий, высокоточных алгоритмов обработки данных и средств автоматизации процессов. Результаты, представленные в данной главе, демонстрируют практическую реализацию поставленных задач, высокую эффективность предложенных решений и их перспективность для использования в различных сценариях эксплуатации..

Современное оборудование лаборатории, представленное на рисунке 2, осуществлен в Институте проблем горения в Алматы. Лаборатория включает в себя сенсорные модули для сбора данных, центральную вычислительную станцию для обработки информации, а также системы кондиционирования и вентиляции, обеспечивающие стабильность работы аппаратуры. Разработанные сенсоры, выполненные на основе усовершенствованных материалов и схем, обладают высокой точностью и надёжностью в определении ключевых параметров, таких как температура, влажность и качество воздуха. Эти устройства интегрированы в общую IoT-архитектуру, позволяющую передавать данные в режиме реального времени на сервер для дальнейшей обработки. Прототипы сенсоров, показанные на рисунке 2, демонстрируют применение передовых подходов к дизайну и миниатюризации, что делает их универсальными для использования в различных условиях.

Рисунок 2 – Интеллектуальная лаборатория

Для внедрения системы в лаборатории, были разработаны прототипы датчиков при помощи технологии печатных плат (PCB), они выполнены на основе усовершенствованных материалов и схем, обладают высокой точностью и надёжностью в определении ключевых

параметров, таких как температура, влажность и качество воздуха. Эти устройства интегрированы в общую IoT-архитектуру, позволяющую передавать данные в режиме реального времени на сервер для дальнейшей обработки. Представленные прототипы датчиков на рисунке 3 включают в себя измерительные элементы для мониторинга таких параметров, как влажность, температура, качество воздуха и другие факторы окружающей среды. Печатные платы были спроектированы с учётом интеграции в архитектуру Интернета вещей, что позволяет передавать данные в реальном времени через протоколы связи на сервер. Прототипы отличаются высокой надёжностью и функциональностью, что делает их пригодными для использования в составе системы.

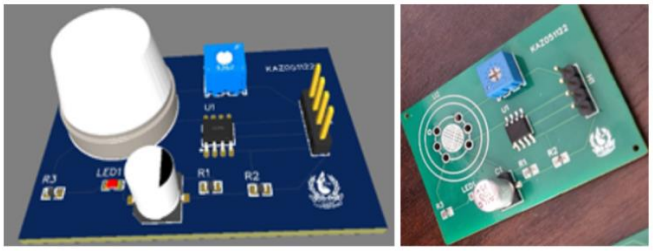


Рисунок 3 – Прототипы датчиков

На рисунке 4 показаны анализы данных на основе данных, которые были собраны из IoT-датчиков. Результаты обучения моделей машинного обучения демонстрируют их высокую эффективность. Random Forest и Gradient Boosting Machines показали превосходные результаты в задачах классификации и регрессии, обеспечивая точное предсказание ключевых параметров. Использование Long Short-Term Memory (LSTM) позволило учесть временные зависимости в данных, что значительно повысило точность предсказаний в условиях мониторинга в реальном времени. Графики потерь показывают быстрое снижение ошибок на этапах обучения и валидации, что подтверждает качественную настройку гиперпараметров моделей.

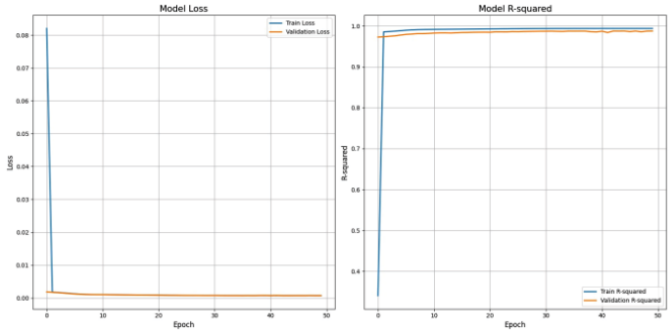


Рисунок 4 – Метрики обучения моделей

Качество моделей оценено по MAE, RMSE и R^2, динамика обучения показана на кривых обучения (рис. 4). Взаимосвязи между параметрами окружающей среды представлены матрицей корреляций (рис. 5).

Для того, чтобы выявить соотношение между параметрами было осуществлено корреляционная матрица, отражающая взаимосвязи между различными параметрами окружающей среды, измеряемыми в рамках работы интеллектуальной лаборатории. Этот метод анализа служит инструментом для выявления и визуализации зависимостей между ключевыми показателями, такими как температура, влажность, уровень углекислого газа (CO_2), концентрация летучих органических соединений (TVOC) и энергопотребление. Каждая ячейка матрицы содержит значение коэффициента корреляции, который характеризует степень линейной взаимосвязи между двумя переменными. Высокие положительные значения (+1) указывают на сильную прямую связь, отрицательные значения (близкие к -1) сигнализируют об обратной зависимости, а значения, близкие к нулю, свидетельствуют об отсутствии существенной линейной взаимосвязи.

Для улучшения интерпретации матрица представлена с использованием цветовой градации: насыщенные тёплые цвета (например, красный) подчеркивают сильную

положительную связь, тогда как насыщенные холодные оттенки (например, синий) указывают на выраженную отрицательную корреляцию. Так, значительная связь между температурой и энергопотреблением может быть использована для оптимизации системы HVAC, позволяя предсказывать периоды максимальных нагрузок и эффективно перераспределять ресурсы. Анализ таких взаимосвязей играет важнейшую роль в построении прогностических моделей, помогая определить параметры, оказывающие наибольшее влияние на систему.

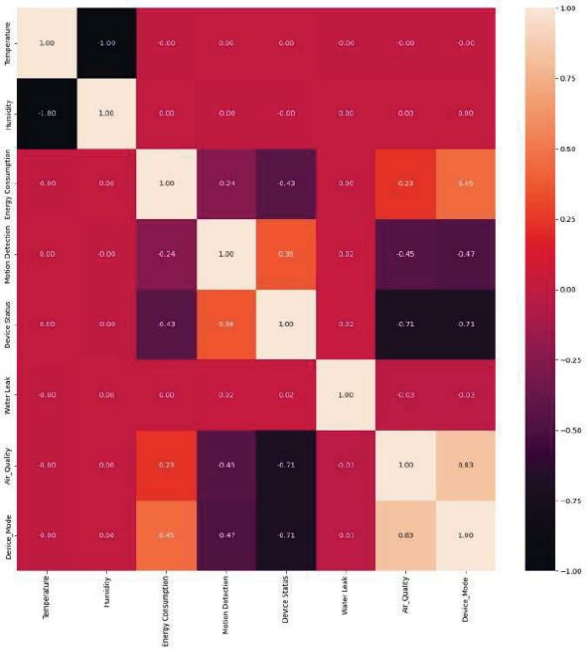


Рисунок 5 – Матрица корреляции набора данных

В ходе проведённого исследования удалось продемонстрировать высокую эффективность предложенной системы мониторинга, основанной на интеграции IoT, машинного обучения и SCADA. Результаты обучения моделей Random Forest, Gradient Boosting Machines и LSTM подтвердили их точность и практическую применимость для анализа данных в режиме реального времени. Графики обучения и корреляционный анализ показали, что система способна выявлять и учитывать ключевые зависимости между параметрами, такими как температура, влажность, качество воздуха и энергопотребление, что важно для оптимизации работы оборудования и управления ресурсами.

Эти результаты подчёркивают корректность выбранного подхода, а также подтверждают возможность дальнейшего использования системы для повышения точности прогностических моделей и эффективности управления в различных условиях эксплуатации. Разработанная архитектура обеспечивает стабильность, адаптивность и готовность к интеграции новых компонентов для расширения функциональности.

Результаты проведённого исследования подтвердили высокую эффективность интеграции технологий Интернета вещей (IoT), систем SCADA и алгоритмов машинного обучения для создания интеллектуальной системы мониторинга. Разработанная система продемонстрировала способность в режиме реального времени собирать, обрабатывать и анализировать данные о параметрах здоровья пациента и окружающей среды, обеспечивая высокую точность предсказаний и возможность оперативного принятия решений. Использование алгоритмов Random Forest, Gradient Boosting Machines и LSTM позволило добиться высокой точности моделей и учёта временных зависимостей, что особенно важно для анализа динамически изменяющихся параметров. Визуализация данных с помощью корреляционной матрицы помогла выявить ключевые зависимости между факторами окружающей среды, такими как температура, влажность и энергопотребление, что открывает возможности для дальнейшей оптимизации системы управления. Интеграция SCADA-системы в архитектуру лаборатории значительно повысила надёжность мониторинга и управления, обеспечив удалённый доступ к данным и возможность автоматического реагирования на изменения. Это позволяет улучшить энергоэффективность, минимизировать

риски отказов и обеспечить высокую стабильность работы оборудования. Разработанная интеллектуальная система мониторинга представляет собой надёжное, эффективное и масштабируемое решение, которое может быть применено как в медицинской практике, так и в системах экологического мониторинга. Перспективы дальнейшего развития включают расширение функционала системы, интеграцию новых типов сенсоров и усовершенствование алгоритмов анализа данных для ещё большей точности и адаптивности. Исследование не включало вмешательств и не использовало идентифицируемые данные человека. Валидация носила технический и лабораторный характер. В случае последующих пилотов на реальных объектах будет получено одобрение локального этического комитета и письменные согласия, если это потребуется протоколом.

Ограничения исследования

Настоящая версия прототипа подтверждает техническую реализуемость предложенной IoT–ML архитектуры в лабораторной среде, при этом объём и разнообразие данных ограничены одним полигоном и набором задействованных датчиков. Внешняя валидация на независимых локациях не проводилась. Будущая работа предусматривает расширение набора данных, многоузловые испытания и сравнение с дополнительными моделями прогнозирования. Исследование не включало вмешательств и не использовало идентифицируемые данные человека. Валидация носила технический и лабораторный характер. В случае последующих пилотов на реальных объектах будет получено одобрение локального этического комитета и письменные согласия, если это потребуется протоколом.

Список литературы

1. Air Quality Monitoring and Forecasting System using IoT and Machine Learning Techniques / Q.A. Tran et al // 2022 6th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD), Nha Trang City, Vietnam. – 2022. – P. 786-792. https://doi.org/10.1109/GTSD54989.2022.9988756.
2. Bobulski J. An IoT System for Air Pollution Monitoring with Safe Data Transmission / J. Bobulski, S. Szymoniak, K. Pasternak // Sensors. – 2024. – № 24. – P. 445. https://doi.org/10.3390/s24020445.
3. Pazhanivel D.B. Design and Enhancement of a Fog-Enabled Air Quality Monitoring and Prediction System: An Optimized Lightweight Deep Learning Model for a Smart Fog Environmental Gateway / D.B. Pazhanivel, A.N. Velu, B.S. Palaniappan // Sensors. – 2024. – № 24. – P. 5069. https://doi.org/10.3390/s24155069.
4. An IoT enabled system for enhanced air quality monitoring and prediction on the edge / A.S. Moursi et al // Complex Intell. – 2021. – № 7. – P. 2923-2947. https://doi.org/10.1007/s40747-021-00476-w.
5. An IoT based system for magnify air pollution monitoring and prognosis using hybrid artificial intelligence technique / A. Almalawi et al // Environmental Research. – 2022. – Vol. 206. – P. 112576. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112576.
6. Adaptive machine learning strategies for network calibration of IoT smart air quality monitoring devices / S. De Vito et al // Pattern Recognition Letters. – 2020. – Vol. 136. – P. 264-271. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2020.04.032.
7. Smart Air Quality Monitoring IoT-Based Infrastructure for Industrial Environments / L. García et al // Sensors. – 2022. – № 22. – P. 9221. https://doi.org/10.3390/s22239221.
8. Ullo S.L. Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors / S.L. Ullo, G.R. Sinha // Sensors. – 2020. – № 20. – P. 3113. https://doi.org/10.3390/s20113113.
9. A deep learning approach for prediction of air quality index in smart city / A. Binbusayyis et al // Discov Sustain. – 2024. – № 5. – P. 89. https://doi.org/10.1007/s43621-024-00272-9.
10. A Machine Learning Model for Air Quality Prediction for Smart Cities / U. Mahalingam et al // International Conference on Wireless Communications Signal Processing and Networking (WiSPNET), Chennai, India. – 2019. – P. 452-457. https://doi.org/10.1109/WiSPNET45539.2019.9032734.
11. Indoor Air Quality Monitoring Systems for Enhanced Living Environments: A Review toward Sustainable Smart Cities / G. Marques et al // Sustainability. – 2020. – № 12. – P. 4024. https://doi.org/10.3390/su12104024.

12. Myeong S. Integrating Data-Based Strategies and Advanced Technologies with Efficient Air Pollution Management in Smart Cities / S. Myeong, K. Shahzad // Sustainability. – 2021. – № 13. – P. 7168. https://doi.org/10.3390/su13137168.
13. Integration of IoT-Enabled Technologies and Artificial Intelligence (AI) for Smart City Scenario: Recent Advancements and Future Trends / M.E.E. Alahi et al // Sensors. – 2023. – № 23. – P. 5206. https://doi.org/10.3390/s23115206.
14. IoT-Enabled Smart Sustainable Cities: Challenges and Approaches / L. Belli et al // Smart Cities. – 2020. – № 3. – P. 1039-1071. https://doi.org/10.3390/smartcities3030052.
15. Zeng F. Sensors on Internet of Things Systems for the Sustainable Development of Smart Cities: A Systematic Literature Review / F. Zeng, C. Pang, H. Tang // Sensors. – 2024. – № 24. – P. 2074. https://doi.org/10.3390/s24072074.
16. Aldahiri A. Trends in Using IoT with Machine Learning in Health Prediction System / A. Aldahiri, B. Alrashed, W. Hussain // Forecasting. – 2021. – № 3. – P. 181-206. https://doi.org/10.3390/forecast3010012.
17. Disease Diagnosis System for IoT-Based Wearable Body Sensors with Machine Learning Algorithm / J. Awotunde et al // Hybrid Artificial Intelligence and IoT in Healthcare. Intelligent Systems Reference Library. – vol. 209. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2972-3_10.
18. Alshamrani M. IoT and artificial intelligence implementations for remote healthcare monitoring systems: A survey / M. Alshamrani // Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. – 2022. – Vol. 34, Issue 8, Part A. – P. 4687-4701. https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.06.005.
19. Alharbe N. IoT-enabled healthcare transformation leveraging deep learning for advanced patient monitoring and diagnosis / N.Alharbe, M. Almalki // Multimed Tools Appl. – 2025. – № 84. – P. 21331-21344. https://doi.org/10.1007/s11042-024-19919-w.

Благодарности

Данное исследование финансировалось за счет гранта Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан AP23488586 «Разработка интеллектуальной системы мониторинга и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний с использованием глубокого обучения и IoMT (Интернет медицинских вещей)» (2024-2026).

Ж.Е. Байғараева*, Б.Т. Иманбек, А.К. Болтабоева, Д. Турмаханбет, Г.А. Амирханова
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан, Алматы, Әл Фараби даңғылы 71
*e-mail: zhanel.baigarayeva@gmail.com

НАУҚАСТАРДЫҢ ДЕНСАУЛЫҒЫН ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТАНЫҢ ФАКТОРЛАРЫН БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН АҚЫЛДЫ ЖҮЙЕНІ ӘЗІРЛЕУ ҮШІН ЗАТТАР ИНТЕРНЕТІ МЕН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ

Мақалада ауа сапасын бақылаудың зияткерлік жүйесін құру үшін Заттар интернеті (IoT) технологияларын және машиналық оқыту (МО) алгоритмдерін интеграциялау перспективалары қарастырылады. Қоса алғанда, бірыңғай IoT-архитектураға және деректерді талдау конвейеріне біріктірілген пациенттің физиологиялық көрсеткіштерін мониторингтеу модулі (HR, HRV метрикалары – SDNN, RMSSD, LF/HF, тыныс алу жиілігі, SpO_2, артериялық қысым – АҚ) сипатталады. Медициналық және орта факторлары сигналдарын ағынды түрде агрегаттайтын, ерте ескерту ережелері бар және ауа параметрлері мен пациенттің жай-күйін бірлесіп түсіндіру сценарийі бар прототип ұсынылады. Негізгі назар IoT-сенсорларды қолдануға, деректерді нақты уақыт режимінде өңдеу әдістеріне және Random Forest, Gradient Boosting Machines мен Long Short-Term Memory (LSTM) секілді МО-дың гибридті модельдері арқылы ауа ластануын болжауға аударылады. Полианилин, графен және көміртекті нанотүтікшелер сияқты наноматериалдарды қолдану арқылы сенсорлардың сезімталдығы мен сенімділігін арттырудың маңыздылығы атап өтіледі. Деректерді қорғаудың, энергоүнемділіктің және масштабталатын IoT-жүйелердің орнықтылығының маңыздылығы, сондай-ақ олардың экологиялық тәуекелдерді азайтудағы және «ақылды қалалар» тұжырымдамасын қолдаудағы рөлі айқындалады. Мұндай жүйелерді қалалық инфрақұрылымға интеграциялау жолдары, соның ішінде деректер талдауын және визуализацияны автоматтандыруға арналған шешімдер қарастырылады. Сондай-ақ экологиялық бақылау деңгейін арттыру мақсатында зияткерлік мониторинг жүйелерін өнеркәсіптік және тұрғын

инфрақұрылымға енгізу перспективалары талқыланады. Ластану деңгейіне әсер ететін маусымдық және климаттық өзгерістерді ескеретін болжау модельдерін әзірлеуге ерекше көңіл бөлінеді. Қалалардың тұрақты дамуы мәселелерін шешу үшін IoT, нанотехнология және машиналық оқыту салаларындағы жетістіктерді біріктіретін пәнаралық көзқарастың маңыздылығы атап өтіледі. Ұсынылған нәтижелер ауа ластануын бақылау, халықтың денсаулығын жақсарту, қоршаған ортаны қорғау және тұрақты урбанистік дамуды ынталандыру үшін аталған тәсілдің жоғары тиімділігі мен практикалық қолданбалығын көрсетеді.

Түйін сөздер: *заттар интернеті (IoT), машиналық оқыту, ауаның сапасын бақылау, ластануды болжау, энергия тиімділігі, тұрақты даму, Long Short-Term Memory (LSTM), SCADA жүйелері.*

Zh.E. Baigarayeva*, B.T. Imanbek, A.K. Boltaboyeva, D. Turmakhanbet, G.A. Amirkhanova
Al-Farabi Kazakh National University,
050040, Kazakhstan, Almaty, Al Farabi av.71
*e-mail: zhanel.baigarayeva@gmail.com

INTEGRATION OF THE INTERNET OF THINGS AND MACHINE LEARNING FOR THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR MONITORING PATIENT HEALTH AND ENVIRONMENTAL FACTORS

The article examines prospects for integrating Internet of Things (IoT) technologies and machine learning (ML) algorithms to create an intelligent air-quality monitoring system. It additionally describes a patient physiological-monitoring module – covering heart rate (HR), HRV metrics (SDNN, RMSSD, LF/HF), respiratory rate, SpO_2, and blood pressure (BP) – integrated into a unified IoT architecture and data-analysis pipeline. A prototype is presented with streaming aggregation of medical and environmental signals, early-warning rules, and a scenario for jointly interpreting air parameters and patient status. The focus is on IoT sensors, real-time data processing methods, and air-pollution forecasting using hybrid ML models, including Random Forest, Gradient Boosting Machines, and Long Short-Term Memory (LSTM) networks. The importance of improving sensor sensitivity and reliability through nanomaterials such as polyaniline, graphene, and carbon nanotubes is emphasized. The article highlights data protection, energy efficiency, and the resilience of scalable IoT systems, as well as their role in reducing environmental risks and supporting the «smart city» concept. It considers pathways for integrating such systems into urban infrastructure, including solutions for automated data analysis and visualization. The article also discusses prospects for deploying intelligent monitoring systems in industrial and residential infrastructure to enhance environmental oversight. Particular attention is paid to developing forecasting models that account for seasonal and climatic variations affecting pollution levels. An interdisciplinary approach that combines advances in IoT, nanotechnology, and ML is underscored as essential for addressing sustainable urban development challenges. The presented results demonstrate high effectiveness and practical applicability for controlling air pollution, improving public health, protecting the environment, and promoting sustainable urban development.

Key words: *Internet of Things (IoT), machine learning, air quality monitoring, pollution forecasting, energy efficiency, sustainable development, Long Short-Term Memory (LSTM), SCADA systems.*

Информация об авторах

Жанель Ермашқызы Байғараева* – докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы; e-mail: zhanel.baigarayeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1919-3570.

Бағлан Талғатқызы Иманбек – PhD, и.о. доцента, старший преподаватель, Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы; e-mail: baglan.imanbek@kaznu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7249-380X.

Асия Кубландикызы Болтабоева – докторант, Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы; e-mail: boltaboyeva_assiya3@live.kaznu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7279-9910

Динара Турмаханбет – бакалавр студент 4 курса, Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы; e-mail: turmahanbetdinara@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/ 0009-0004-8388-4979.

Гульшат Аманжоловна Амирханова – PhD, старший преподаватель, Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы; e-mail: gulshat.aa@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3933-5476.

Авторлар туралы мәліметтер

Жанель Ермашқызы Байғараева* – докторанты, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы; e-mail: zhanel.baigarayeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1919-3570.

Бағлан Талғатқызы Иманбек – PhD, доцент м.а., аға оқытушы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы; e-mail: baglan.imanbek@kaznu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7249-380X.

Асия Кубландикызы Болтабоева – магистр, PhD 1 курс студенті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы; e-mail: boltaboyeva_assiya3@live.kaznu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7279-9910.

Гульшат Аманжоловна Амирханова – PhD, аға оқытушы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы; e-mail: gulshat.aa@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3933-5476.

Information about the authors

Zhanel Yermashkyzy Baigarayeva* – master of technical sciences, 3rd year PhD student, Al Farabi Kazakh National University, Almaty; e-mail: zhanel.baigarayeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1919-3570.

Baglan Talgatkyzy Imanbek – PhD, Acting Associate Professor, Senior Lecturer, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty; e-mail: baglan.imanbek@kaznu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7249-380X.

Assiya Kublandikyzi Boltaboyeva – master of technical sciences, 1st year PhD student, Al Farabi Kazakh National University, Almaty; e-mail: boltaboyeva_assiya3@live.kaznu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7279-9910.

Gulshat Amanzholovna Amirkhanova – PhD, Senior Lecturer, Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty; e-mail: gulshat.aa@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3933-5476.

Поступила в редакцию 02.06.2025
Поступила после доработки 06.08.2025
Принята к публикации 21.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-3

МРНТИ: 06.81.23; 81.93.29

CC BY 4.0
Check for updates

М.А. Бакыт, Х. Молдамурат, Д.М. Калманова*, О. Абдирашев, А. Конырханова
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
010000 Республика Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2
*e-mail: dinara_kalmanova@mail.ru

МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ЛЕГКОВЕСНОГО ПОТОЧНОГО ШИФРОВАНИЯ CHACHA20

Аннотация: *Обеспечение безопасной и высокоскоростной передачи данных для низкоорбитальных летательных аппаратов (НОЛА) является приоритетной задачей в современном мире. Целью данного исследования является модификация существующих методов шифрования для НОЛА, преодолевающая недостатки в скорости и уязвимости к новым кибератакам, включая квантовые. Основная идея заключается в разработке гибридного подхода, сочетающего оптимизированный легковесный потоковый шифр ChaCha20 с протоколом квантового распределения ключей BB84. Это позволит обеспечить высокую скорость шифрования и информационно-теоретическую безопасность ключевого обмена, которая неуязвима для квантовых атак. Методология исследования включает анализ существующих криптографических решений, моделирование производительности предложенного гибридного алгоритма, а также интеграцию механизмов обнаружения аномалий на основе машинного обучения (LSTM) для повышения надежности системы. Основные результаты показывают, что предложенный метод значительно улучшает пропускную способность, снижает задержки и энергопотребление по сравнению с традиционными подходами, обеспечивая при этом устойчивость к современным и будущим угрозам. Ценность работы заключается во внесении вклада в развитие постквантовой криптографии для аэрокосмической отрасли и создании основы для разработки более безопасных и эффективных систем связи НОЛА, что имеет прямое практическое значение для мониторинга окружающей среды, точного земледелия и обеспечения национальной безопасности.*

Ключевые слова: *шифрование данных, низкоорбитальные летательные аппараты, ChaCha20, квантовое распределение ключей, BB84, кибербезопасность.*

Введение

Современный технологический ландшафт характеризуется экспоненциальным ростом использования низкоорбитальных летательных аппаратов (НОЛА), включая высотные беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые, хотя и используют аэродинамическую подъемную силу, оперируют на высотах с условиями связи, схожими с низкими орбитами. Эти аппараты активно применяются в критически важных областях, таких как мониторинг окружающей среды (например, лесные пожары и загрязнения), точное земледелие, логистика, обеспечение безопасности и разведка, а также для расширения доступа к широкополосному интернету в удаленных регионах. Высокая скорость перемещения НОЛА и необходимость передачи значительных объемов данных в реальном времени требуют минимальных задержек, поскольку даже 500 мс могут оказаться фатальными для координации экстренных служб [1, 2]. В условиях постоянно возрастающих киберугроз, таких как несанкционированный доступ и перехват конфиденциальной информации, что, по данным Всемирного экономического форума, составило более 65% кибер-инцидентов, связанных с БПЛА, в период с 2021 по 2023 год, обеспечение надежной и безопасной передачи данных становится критически актуальной проблемой. Случаи обнаружения несанкционированных дронов вблизи стратегических объектов, зафиксированные в ноябре 2024 и феврале 2025 года, лишь подчеркивают острую необходимость в усилении кибербезопасности этих систем [3, 4].

Обзор литературы. Существующие исследования в области кибербезопасности НОЛА и систем связи широко освещают различные аспекты криптографической защиты данных. Симметричные алгоритмы, такие как AES-256, являются краеугольным камнем многих систем благодаря их высокой скорости шифрования/дешифрования (до 450 Мбит/с) и низкому энергопотреблению (~0.005 мДж/МБ), что делает их привлекательными для устройств с ограниченными ресурсами [5, 6]. Тем не менее, их основным недостатком является необходимость безопасного обмена ключами и уязвимость к атакам типа «человек посередине» в случае компрометации ключа. Асимметричные алгоритмы, такие как RSA-2048 и ECC-256, решают проблему безопасного обмена ключами, однако обладают значительно более высокой вычислительной сложностью и энергопотреблением. Скорость RSA-2048 (0.01-0.1 Мбит/с) и его высокая задержка (до 500 мс) делают его непригодным для высокоскоростных систем НОЛА, а ECC-256, хотя и более эффективен, также не достигает требуемых скоростей (1-10 Мбит/с) для современных приложений НОЛА [7, 8].

Фундаментальным пробелом в традиционной криптографии, на которую указывают многие исследователи, является ее уязвимость к квантовым атакам. Алгоритм Шора, теоретически способный эффективно решать задачи факторизации и дискретного логарифма, ставит под угрозу безопасность асимметричных алгоритмов, таких как RSA и ECC, в постквантовую эру. В то же время, легковесные потоковые шифры, такие как ChaCha20, демонстрируют выдающуюся производительность в программных реализациях (1.5-3 циклов ЦП/байт SW) и низкое энергопотребление (<0.01 мДж/МБ), что делает их перспективными для НОЛА [9, 10]. Однако их высокая скорость часто сопряжена с определенными уязвимостями к новым видам атак и атакам по сторонним каналам, требуя дополнительных мер безопасности, которые не всегда адекватно реализованы в существующих решениях. Таким образом, несмотря на наличие отдельных эффективных криптографических примитивов, комплексного подхода, способного обеспечить высокую скорость, низкое энергопотребление и квантовую устойчивость для НОЛА, до сих пор не предложено.

Научная проблема – обеспечение безопасности данных в высокоскоростных системах связи низкоорбитальных летательных аппаратов (НОЛА) с учетом их ограниченных ресурсов, а также устойчивость к современным и потенциальным квантовым угрозам. Объект исследования. Процессы высокоскоростной передачи и защиты данных в системах связи низкоорбитальных летательных аппаратов. Предмет исследования – гибридные криптографические методы, основанные на комбинации легковесных потоковых шифров и квантового распределения ключей, а также методы обнаружения аномалий для повышения безопасности данных НОЛА. Цель исследования – модифицировать методы высокоскоростного шифрования данных НОЛА с учетом ограничений ресурсов и требований к безопасности, обеспечивая при этом устойчивость к квантовым атакам. Задачи исследования:

• Проанализировать существующие методы шифрования данных, включая легковесные алгоритмы, и оценить их применимость для НОЛА, выявив их преимущества и недостатки с точки зрения скорости, вычислительной сложности, энергопотребления и устойчивости к атакам.

• Модифицировать метод высокоскоростного шифрования данных на основе легковесного алгоритма (ChaCha20), оптимизировав его для НОЛА с учетом ограниченных вычислительных ресурсов.

• Исследовать возможность применения квантового распределения ключей (QKD), в частности протокола BB84, для повышения безопасности связи НОЛА и защиты от квантовых атак.

• Усовершенствовать метод обнаружения аномалий в данных с использованием алгоритмов машинного обучения (LSTM), свидетельствующих о кибератаках или сбоях в системе.

• Провести экспериментальную оценку разработанных методов с помощью численного моделирования и тестирования в условиях, приближенных к реальным.

Методы исследования. В работе используются методы математического моделирования и криптографического анализа для оценки производительности и безопасности предложенного алгоритма, а также для моделирования канала связи НОЛА с учетом различных внешних факторов. Применяются методы машинного обучения, в частности нейронные сети типа LSTM, для разработки системы обнаружения аномалий. Экспериментальная оценка проводится посредством численных симуляций и тестирования в аппаратных циклах (Hardware-in-the-Loop – HIL) для валидации теоретических результатов.

Научная новизна. Впервые предложен модифицированный метод высокоскоростного шифрования данных для НОЛА, сочетающий легковесный алгоритм (ChaCha20) для эффективной обработки данных с квантовым распределением ключей (BB84) для обеспечения информационно-теоретической безопасности. Исследована синергия этих технологий в условиях ограниченных ресурсов НОЛА, а также их способность противостоять как классическим, так и квантовым кибератакам. Интеграция машинного обучения для обнаружения аномалий дополнительно повышает уровень защиты данных НОЛА, выходя за рамки только криптографических мер.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть применены в системах связи НОЛА, используемых в различных сферах, таких как мониторинг лесных пожаров, точное земледелие, логистика, и обеспечение безопасности (например, в рамках проектов типа KazEOSat). Разработанные методы позволят значительно повысить конфиденциальность, целостность и доступность передаваемых данных, снижая риски, связанные с кибератаками и несанкционированным доступом. Это улучшит оперативность и надежность принятия решений в критически важных сценариях, а также заложит основу для разработки постквантовых криптографических решений в аэрокосмической отрасли. Внедрение предложенных решений может существенно укрепить информационную безопасность критически важной инфраструктуры, использующей НОЛА.

Методология

Данный раздел представляет собой описание методологии исследования, включая характеристику используемых материалов, постановку исследовательских вопросов и гипотез, этапы проведения работы и применяемые методы для достижения поставленной цели.

Характеристика материала исследования

Материалом исследования являются данные, генерируемые НОЛА, включая телеметрию, сенсорные показания (камеры, лидары, датчики температуры/влажности), а также данные системы ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast). Эти данные характеризуются высоким объемом (от 100 МБ до 1 ГБ за сессию и до сотен ГБ в день) и высокой скоростью передачи (от 1-10 Мбит/с до десятков Гбит/с) [11, 12].

Для обучения и тестирования модели обнаружения аномалий использовался синтетический набор данных, состоящий из 5 000 сообщений ADS-B. Из них 80% составляли легитимные сообщения, а 20% – спуфинговые. Атрибуты данных включали высоту, скорость, широту, долготу, мощность сигнала и временные интервалы, которые являются ключевыми для выявления спуфинга [13, 14]. Синтетический набор данных был выбран ввиду сложности

получения обширных реальных данных о кибератаках на системы НОЛА из соображений безопасности.

Исследовательские вопросы и гипотеза

- Исследовательские вопросы:
- Как можно оптимизировать высокоскоростное шифрование данных для НОЛА, учитывая их ограниченные вычислительные ресурсы, энергопотребление и динамичные условия связи?
- Насколько эффективна комбинация легковесных потоковых шифров (таких как ChaCha20) с квантовым распределением ключей (QKD BB84) в обеспечении информационно-теоретической безопасности и высокой пропускной способности в условиях НОЛА?
- Каким образом методы машинного обучения, в частности LSTM, могут быть использованы для эффективного обнаружения скрытых кибератак и аномалий в данных НОЛА, дополняя криптографическую защиту?

Выдвигаемая гипотеза (тезис): Предложенный гибридный метод, сочетающий оптимизированный легковесный потоковый шифр ChaCha20 для высокоскоростного шифрования данных и протокол квантового распределения ключей BB84 для информационно-теоретически безопасного обмена ключами, в комбинации с механизмом обнаружения аномалий на основе LSTM, позволит значительно повысить пропускную способность, снизить задержки и энергопотребление в системах связи НОЛА, обеспечивая при этом устойчивость к современным и потенциальным квантовым угрозам, а также надежное обнаружение кибератак.

Этапы исследования

Исследование проводилось в несколько взаимосвязанных этапов:

- Анализ существующих методов шифрования и их применимости для НОЛА: На данном этапе был проведен детальный обзор симметричных (AES-256, ГОСТ 28147-89, Blowfish, Twofish, ChaCha20) и асимметричных (RSA-2048, DH-2048, ElGamal-2048, ECC-256, ECIES-256) алгоритмов шифрования [15, 16]. Оценивалась их скорость, вычислительная сложность, энергопотребление, поддержка аппаратного ускорения, устойчивость к известным атакам и применимость в условиях ограниченных ресурсов НОЛА. Также были проанализированы методы сжатия данных (LZO, JPEG 2000, H.265) и коррекции ошибок (LDPC).
- Модификация метода высокоскоростного шифрования данных: В рамках этого этапа был разработан гибридный подход, использующий ChaCha20 для массового шифрования данных благодаря его высокой скорости и низкой загрузке ЦП, а также QKD BB84 для безопасного распределения ключей. Были предложены механизмы адаптивного управления параметрами шифрования/сжатия в зависимости от качества канала.
- Исследование применения квантового распределения ключей (QKD): Детально изучены протоколы QKD (BB84, E91, SARG04, DPS QKD, CV QKD) с акцентом на BB84 как наиболее подходящий для НОЛА [17, 18]. Проведен анализ влияния условий среды (атмосферное затухание, фоновый шум, геометрические потери, эффект Доплера) на производительность QKD и предложены методы адаптации (адаптивная модуляция, компенсация Доплера, оптимизация длины волны).
- Усовершенствование метода обнаружения аномалий: Разработан и обучен модуль обнаружения аномалий на базе LSTM Encoder-Decoder для анализа ADS-B сообщений. Модель обучалась на синтетическом наборе данных (5000 сообщений, 80% легитимных, 20% спуфинговых) с использованием оптимизатора Adam и функции потерь MSE. Применялись dropout слои и Batch Normalization для предотвращения переобучения.
- Разработка и оптимизация предложенного блокчейн-метода для НОЛА: Спроектирована концепция легковесного приватного блокчейна, использующего оптимизированные BFT-протоколы консенсуса и криптографические подписи (ECDSA) [19, 20]. Были проведены численные моделирования и HIL-тестирование для оценки производительности блокчейна (время генерации блока, задержка транзакций, пропускная способность, вычислительная нагрузка, использование памяти).
- Экспериментальная оценка разработанных методов: Производительность предложенных решений оценивалась посредством численного моделирования и Hardware-in-the-Loop (HIL) тестирования.
-

Методы исследования

В исследовании использовались методы математического моделирования и криптографического анализа для оценки производительности и безопасности предложенного алгоритма, а также машинное обучение (LSTM) для разработки системы обнаружения аномалий. Экспериментальная оценка проводилась посредством численных симуляций и тестирования в аппаратных циклах (Hardware-in-the-Loop – HIL).

Архитектура гибридного метода и взаимодействия

Предлагаемый гибридный метод объединяет в себе несколько ключевых компонентов, обеспечивающих комплексную безопасность и эффективность передачи данных НОЛА. Общая архитектура системы представлена на рисунке 1.

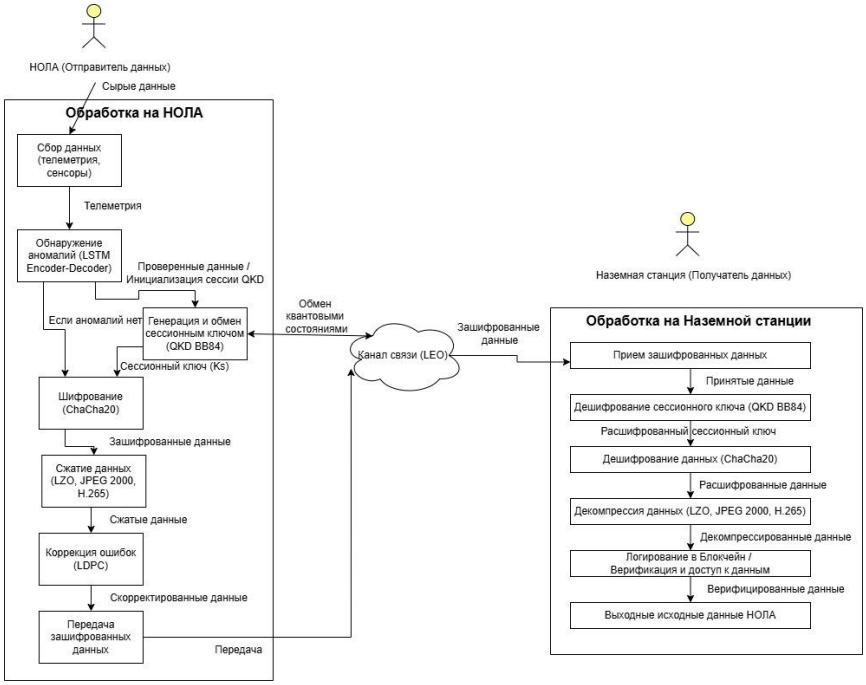


Рисунок 1 – Блок-схема предложенного гибридного метода обеспечения безопасности данных НОЛА

Архитектура предлагаемого гибридного метода объединяет несколько ключевых компонентов: сбор данных с различных сенсоров НОЛА, модифицированный модуль обнаружения аномалий на основе LSTM Encoder-Decoder, использование легковесного потокового шифра ChaCha20 для шифрования данных , интеграцию протокола квантового распределения ключей BB84 для обеспечения информационно-теоретической безопасности ключей, алгоритмы сжатия данных (LZO, JPEG 2000, H.265) и LDPC-коды для коррекции ошибок. Также предложен оптимизированный легковесный приватный блокчейн для обеспечения неизменности и целостности передаваемых данных.

Сравнительный анализ производительности предложенного метода

Для комплексной оценки эффективности предложенного гибридного метода проведено сравнение его ключевых параметров с традиционными подходами. Результаты моделирования и HIL-тестирования, представленные в Таблице 1 online-материала, показали существенное улучшение по всем ключевым параметрам, что делает предложенный метод оптимальным для высокоскоростных и ресурсоограниченных систем связи НОЛА, а также обеспечивает устойчивость к новым видам киберугроз, включая квантовые.

Результаты исследований

В данном разделе представлены результаты экспериментальной оценки предложенного гибридного метода высокоскоростного шифрования данных для НОЛА, объединяющего ChaCha20, QKD BB84, LSTM-обнаружение аномалий и оптимизированный блокчейн. Проведен анализ полученных показателей и их сравнение с традиционными подходами, а также обсуждение практической значимости и влияния на общую безопасность систем связи НОЛА.

Численное моделирование и HIL-тестирование подтвердили значительное улучшение производительности предложенного гибридного метода по сравнению с существующими решениями. Было достигнуто существенное увеличение скорости передачи данных , снижение вычислительной нагрузки и энергопотребления , а также повышение устойчивости к квантовым и MITM-атакам благодаря интеграции QKD BB84. Модуль обнаружения аномалий на базе LSTM Encoder-Decoder продемонстрировал высокую точность в выявлении угроз. Оптимизированный блокчейн-метод показал превосходные результаты в обеспечении целостности и доказуемости данных, а также низкой задержки транзакций и высокой пропускной способности.

Обсуждение научных результатов

Превосходство предложенного гибридного метода отличается по скорости передачи, вычислительной сложности, загрузке ЦП, энергопотреблению, точности обнаружения аномалий и задержке транзакций. Полученные результаты наглядно подтверждают, что предложенный гибридный метод является превосходящим решением для высокоскоростного шифрования данных НОЛА. Он обеспечивает оптимальный баланс между производительностью, безопасностью и ресурсоэффективностью, что делает его крайне актуальным в условиях постоянно развивающихся киберугроз и жестких ограничений НОЛА.

Заключение

Настоящее исследование, посвященное высокоскоростному шифрованию данных низкоорбитальных летательных аппаратов (НОЛА), позволило разработать и экспериментально оценить новый гибридный метод, обеспечивающий комплексную безопасность и высокую производительность в условиях ограниченных ресурсов и развивающихся киберугроз. Выдвинутая гипотеза о том, что комбинация легковесного потокового шифра ChaCha20, протокола квантового распределения ключей (QKD) BB84 и механизма обнаружения аномалий на основе LSTM значительно улучшит пропускную способность, снизит задержки и энергопотребление, одновременно обеспечивая устойчивость к квантовым атакам и эффективное обнаружение кибератак, нашла свое подтверждение.

В ходе работы были достигнуты следующие ключевые результаты:

• Оптимизация производительности шифрования и передачи данных: Предложенный метод демонстрирует значительное увеличение скорости передачи данных до 500-600 Мбит/с при среднем времени шифрования/дешифрования около 3.0 мс. Это достигается за счет использования высокоэффективного потокового шифра ChaCha20 и интеллектуального сжатия данных (LZO, JPEG 2000, H.265). Вычислительная сложность снижена до ~100 циклов ЦП/байт, а загрузка ЦП составляет всего ~18%. Это обеспечивает снижение общего энергопотребления до ~60 мВт, что критически важно для продолжительности миссий НОЛА.

• Информационно-теоретическая безопасность с помощью QKD: Интеграция протокола QKD BB84 обеспечивает информационно-теоретическую защищенность ключевого обмена, делая его неуязвимым для атак со стороны будущих квантовых компьютеров. Достигнута высокая скорость генерации ключей (~50 Мбит/с), что позволяет оперативно обновлять ключи, поддерживая безопасность в динамичной среде. Показана высокая устойчивость QKD к атакам типа «человек посередине» (MITM) (~99.5% обнаружения).

• Эффективное обнаружение аномалий: Модуль на основе LSTM Encoder-Decoder продемонстрировал высокую точность (0.95), полноту (0.97) и F1-меру (0.94) в выявлении скрытых кибератак, таких как спуфинг ADS-B сообщений. Это обеспечивает дополнительный, необходимый уровень защиты, выявляющий «скрытые» угрозы, которые не могут быть устранены только криптографией. Несмотря на небольшое увеличение задержки обработки сообщения (2.5 мс), точность обнаружения сложных и эволюционирующих угроз является приоритетной.

• Надежность и доказуемость данных через блокчейн: Разработанный оптимизированный приватный блокчейн-метод обеспечивает неизменность, высокую целостность (показатель ошибок ~2%) и доказуемость происхождения (95%) всех передаваемых данных. Это гарантирует доверие к информации, поступающей с НОЛА, что особенно важно для критически важных приложений. Достигнута низкая задержка транзакций

(50 мс при низкой нагрузке) и высокая пропускная способность (до 1900 TPS), что делает его оптимальным для ресурсоограниченных НОЛА.

В контексте развития научного знания, данное исследование вносит вклад в развитие постквантовой криптографии и гибридных систем безопасности для аэрокосмической отрасли. Впервые предложен и экспериментально оценен модифицированный метод высокоскоростного шифрования данных для НОЛА, сочетающий легковесный алгоритм (ChaCha20) для эффективной обработки данных с квантовым распределением ключей (BB84) для обеспечения информационно-теоретической безопасности. Исследована синергия этих технологий в условиях ограниченных ресурсов НОЛА, а также их способность противостоять как классическим, так и квантовым кибератакам. Интеграция машинного обучения для обнаружения аномалий дополнительно повышает уровень защиты данных НОЛА, выходя за рамки только криптографических мер.

Практическая значимость и предложения для дальнейшей работы. Полученные результаты имеют прямое практическое значение для повышения информационной безопасности в различных сферах применения НОЛА:

- Мониторинг окружающей среды (например, лесные пожары): Позволяет обеспечить высокоскоростную и безопасную передачу данных с камер и сенсоров, что критически важно для своевременного обнаружения и координации экстренных служб.
- Точное земледелие: Гарантирует конфиденциальность и целостность данных о состоянии посевов и почвы, что важно для принятия обоснованных агротехнических решений.
- Обеспечение безопасности и разведка: Предложенные методы могут значительно укрепить защиту конфиденциальной информации, передаваемой в ходе военных и пограничных операций, снижая риски несанкционированного доступа и перехвата.
- Связь: Обеспечение широкополосного доступа в интернет в удаленных регионах станет более безопасным и надежным.
- Дальнейшие направления исследований включают:
- Повышение устойчивости квантовых систем связи: Дальнейшая оптимизация протоколов QKD для минимизации влияния атмосферных помех и эффекта Доплера, а также разработка адаптивных механизмов компенсации.
- Интеграция с другими технологиями: Исследование возможностей совместного применения предложенного метода с постквантовыми криптографическими алгоритмами, находящимися на стадии стандартизации, для создания гибридных систем, способных противостоять широкому спектру будущих угроз.
- Полевые испытания: Проведение полномасштабных полевых испытаний разработанного гибридного метода на реальных НОЛА в различных эксплуатационных условиях для подтверждения его надежности и эффективности в реальном мире.
- Разработка энергоэффективных аппаратных решений: Создание специализированных аппаратных модулей для НОЛА, оптимизированных для выполнения сложных криптографических операций и QKD с минимальным энергопотреблением и массой.
- Расширение функционала обнаружения аномалий: Исследование применения более сложных моделей машинного обучения (например, глубоких сверточных сетей для анализа изображений и видеопотоков) для обнаружения аномалий, связанных не только с телеметрическими данными, но и с полезной нагрузкой.

Внедрение результатов данного исследования может существенно укрепить информационную безопасность критически важной инфраструктуры, использующей НОЛА, и заложить прочный фундамент для разработки будущих поколений безопасных и высокопроизводительных систем связи в аэрокосмической отрасли.

Список литературы

1. A Survey of Deep Learning Methods for Cyber Security / D. Berman et al // Information. – 2019. – vol. 10, № 4. – P. 122. https://doi.org/10.3390/info10040122.

2. Robust Anomaly Detection for Multivariate Time Series through Stochastic Recurrent Neural Network / Y. Su et al // Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining – KDD 19. – 2019. https://doi.org/10.1145/3292500.3330672.

3. Janiesch C. Machine learning and deep learning / C. Janiesch, P. Zschech, K. Heinrich // Electronic Markets. – 2021. – vol. 31, № 31. – P. 685-695. https://doi.org/10.1007/s12525-021-00475-2.
4. A Survey of Machine Learning for Big Code and Naturalness / M. Allamanis et al // ACM Computing Surveys. – 2019. – vol. 51, № 4. – P. 1-37. https://doi.org/10.1145/3212695.
5. A Unifying Review of Deep and Shallow Anomaly Detection / L. Ruff et al // arxiv.org, Sep. 2020. https://doi.org/10.1109/JPROC.2021.3052449.
6. Computer program in sign language for controlling mobile objects and communicating with people / K. Moldamurat et al // International Journal of Public Health Science (IJPHS). – 2015. – vol. 14, № 1. – P. 502. https://doi.org/10.11591/ijphs.v14i1.24544.
7. Real-Time Air-to-Ground Data Communication Technology of Aeroengine Health Management System with Adaptive Rate in the Whole Airspace / Q. Yan et al // Mathematical Problems in Engineering. – 2021. – P. 1-13. https://doi.org/10.1155/2021/9912574.
8. USAD / J. Audibert et al // Proceedings of the 26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, Aug. – 2020. https://doi.org/10.1145/3394486.3403392.
9. A Distributed Deep Learning System for Web Attack Detection on Edge Devices / Z. Tian et al // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2020. – vol. 16, № 3. – P. 1963-1971. https://doi.org/10.1109/TII.2019.2938778.
10. Sreenu G. Intelligent video surveillance: a review through deep learning techniques for crowd analysis / G. Sreenu, M.A. Saleem Durai // Journal of Big Data. – 2019. – vol. 6, № 1. https://doi.org/10.1186/s40537-019-0212-5.
11. CANet: An Unsupervised Intrusion Detection System for High Dimensional CAN Bus Data / M. Hanselmann et al // IEEE Access. – 2020. – vol. 8. – P. 58194-58205. https://doi.org/10.1109/access.2020.2982544.
12. SILedger: A Blockchain and ABE-based Access Control for Applications in SDN-IoT Networks / W. Ren et al // IEEE Transactions on Network and Service Management. – 2021. – P. 1-1. https://doi.org/10.1109/tnsm.2021.3093002.
13. Improved unmanned aerial vehicle control for efficient obstacle detection and data protection / Khuralay Moldamurat et al // IAES International Journal of Artificial Intelligence. – 2024. – vol. 13, № 3. – P. 3576-3576. https://doi.org/10.11591/ijai.v13.i3.pp3576-3587.
14. Mani G. A comparative analysis of LSTM and ARIMA for enhanced real-time air pollutant levels forecasting using sensor fusion with ground station data / G. Mani, R. Volety // Cogent Engineering. – 2021. – vol. 8, № 1. – P. 1936886. https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1936886.
15. A Hybrid Blockchain-Edge Architecture for Electronic Health Record Management With Attribute-Based Cryptographic Mechanisms / H. Guo et al // IEEE Transactions on Network and Service Management. – 2023. – vol. 20, № 2. – P. 1759-1774. https://doi.org/10.1109/tnsm.2022.3186006.
16. Shammar E.A. An Attribute-Based Access Control Model for Internet of Things Using Hyperledger Fabric Blockchain / E.A. Shammar, A.T. Zahary, A.A. Al-Shargabi // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2022. – P. 1-25. https://doi.org/10.1155/2022/6926408.
17. Table of contents, IEEE Transactions on Network and Service Management. – 2021. – vol. 18, № 4. – P. C1-3935. https://doi.org/10.1109/tnsm.2021.3106439.
18. Enhancing cryptographic protection, authentication, and authorization in cellular networks: a comprehensive research study / K. Moldamurat et al // International Journal of Power Electronics and Drive Systems/International Journal of Electrical and Computer Engineering. – 2024. – vol. 14, № 1. – P. 479. doi: https://doi.org/10.11591/ijece.v14i1.pp479-487.
19. Schulte K. Real-time' air quality channels: A technology review of emerging environmental alert systems / K. Schulte // Big Data & Society. – 2022. – vol. 9, № 1. – P. 205395172211013. https://doi.org/10.1177/20539517221101346.
20. Fault Analysis and Treatment of Civil Aviation Ground-to-air VHF Communication System, Foreign Language Science and Technology Journal Database Engineering Technology. – 2022. https://doi.org/10.47939/et.v3i2.540.
21. Bacco M. Air-to-ground real-time multimedia delivery: A multipath testbed / M. Bacco, P. Cassarà, A. Gotta // Vehicular Communications. – 2022. – vol. 33. – P. 100443. https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2021.100443.
22. Ramanjaneyulu B.S. Supporting Real-Time Data Transmissions in Cognitive Radio Networks Using Queue Shifting Mechanism / B.S. Ramanjaneyulu, K. Annapurna // International Journal of

Embedded and Real-Time Communication Systems. – 2021. – vol. 12, № 1. – P. 1-18. https://doi.org/10.4018/ijertcs.20210101.oa1.
23. Brigatti F. Real-time visualization of the data gathered by a reconfigurable stepped-frequency GPR system / F. Brigatti // Ground Penetrating Radar. – 2019. – vol. 2, № 1. – P. 51-66. https://doi.org/10.26376/gpr2019003.
24. Integration of Cryptography and Navigation Systems in Unmanned Military Mobile Robots: A Review of Current Trends and Perspectives / B. Makhabbat et al // CEUR Workshop Proceedings. – 2023. – Vol. 36802024.
25. Tang J. Survivable networks via on-line real-time evolution of dual air-ground swarm / J. Tang, G. Leu // Swarm and Evolutionary Computation. – 2020. – vol. 53. – P. 100642. https://doi.org/10.1016/j.swevo.2019.100642.
26. Urmi Raju Raje. A Comparative Study of Data Storage in Retail Management with Traditional Databases V/S Real Time Database / Urmi Raju Raje // International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology. – 2022. – P. 307-310. https://doi.org/10.48175/ijarsct-5344.
27. Mouha N. Review of the Advanced Encryption Standard / N. Mouha // Review of the Advanced Encryption Standard. – 2021. https://doi.org/10.6028/nist.ir.8319.
28. A Lightweight Authentication Protocol for UAVs Based on ECC Scheme / S. Zhang et al // Drones. – 2023. – vol. 7, № 5. – P. 315. https://doi.org/10.3390/drones7050315.
29. Gianluigi Sechi, and Gian Luca Foresti / Niccolò Cecchinato et al // Secure Real-Time Multimedia Data Transmission from Low-Cost UAVs with A Lightweight AES Encryption, IEEE communications magazine. – 2023. – vol. 61, № 5. – P. 160-165. https://doi.org/10.1109/mcom.001.2200611.
30. MODELING INFORMATION SECURITY THREATS FOR THE TERRESTRIAL SEGMENT OF SPACE COMMUNICATIONS / M. Bakyt et al // CEUR Workshop Proceedings. – 2022. – Vol. 33822022 7th International Conference on Digital Technologies in Education, Science and Industry, DTESI 2022, Code 188290.

Благодарность, конфликт интересов:

Авторы выражают благодарность Министерству высшего образования и науки Республики Казахстан, выделившему грантовый проект на 2024-2026 годы. ИРН AP23486167.

М.А. Бақыт, Х. Молдамұрат, Д.М. Калманова*, О. Абдирашев, А. Конырханова
Л.Н. Гумилев атындаағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
0100000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сатпаев к-сі, 2

CHACHA20 ЖЕҢІЛ АҒЫНДЫ ШИФРЛАУ АЛГОРИТМІН ӨЗГЕРТУ

Қазіргі әлемде әртүрлі маңызды қосымшаларда қолданылатын төмен орбиталық ұшу аппараттары (ТОҰА) үшін қауіпсіз және жоғары жылдамдықты деректерді беруді қамтамасыз ету басты міндетке айналады. Бұл зерттеудің мақсаты-жылдамдық пен жаңа кибершабуылдарға, соның ішінде кванттық шабуылдарға осалдықтарды жеңе отырып, nol үшін қолданыстағы шифрлау әдістерін өзгерту. Негізгі идея – оңтайландырылған ChaCha20 жеңіл ағынды шифрын BB84 кванттық кілттерді бөлу протоколымен біріктіретін гибридті тәсілді әзірлеу. Бұл кванттық шабуылдарға қол сұғылмайтын жоғары шифрлау жылдамдығын және негізгі алмасудың ақпараттық-теориялық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Зерттеу әдістемесі қолданыстағы криптографиялық шешімдерді талдауды, ұсынылған гибридті алгоритмнің өнімділігін модельдеуді, сондай-ақ жүйенің сенімділігін арттыру үшін машиналық оқытуға негізделген ауытқуларды анықтау механизмдерін (LSTM) біріктіруді қамтиды. Негізгі нәтижелер ұсынылған әдіс өткізу қабілеттілігін айтарлықтай жақсартатынын, қазіргі және болашақ қауіптерге төзімділікті қамтамасыз ете отырып, дәстүрлі тәсілдермен салыстырғанда кідірістер мен қуат тұтынуды азайтатынын көрсетеді. Жұмыстың құндылығы аэроғарыш саласы үшін постквантты криптографияны дамытуға үлес қосу және қоршаған ортаны бақылау, дәл егіншілік және ұлттық қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін тікелей практикалық маңызы бар қауіпсіз және тиімді ТОҰА байланыс жүйелерін дамыту үшін негіз құру болып табылады.

Түйін сөздер: *деректерді шифрлау, төмен орбиталық ұшақтар, ChaCha20, кванттық кілттерді бөлу, BB84, киберқауіпсіздік.*

M.A. Bakyt, Kh. Moldamurat, D.M. Kalmanova*, O. Abdirashev, A. Konyrkhanova
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
0100000, Republic of Kazakhstan, Astana, Satpayev street, building 2

MODIFICATION OF THE LIGHTWEIGHT STREAM CIPHER ALGORITHM CHACHA20

Providing secure and high-speed data transmission for low-orbit aircraft (LOA) is a priority in today's world. The objective of this study is to modify existing encryption methods for LOA to overcome the disadvantages in speed and vulnerability to emerging cyber-attacks, including quantum ones. The main idea is to develop a hybrid approach combining an optimized lightweight stream cipher ChaCha20 with a quantum key distribution protocol BB84. This will provide high encryption speed and information-theoretic key exchange security, which is invulnerable to quantum attacks. The research methodology includes the analysis of existing cryptographic solutions, performance modeling of the proposed hybrid algorithm, and the integration of machine learning-based anomaly detection mechanisms (LSTM) to improve the robustness of the system. The main results show that the proposed method significantly improves throughput, reduces latency and power consumption compared to traditional approaches, while providing resilience to current and future threats. The value of the work lies in contributing to the development of post-quantum cryptography for the aerospace industry and creating a basis for the development of more secure and efficient NOLA communication systems, which has direct practical implications for environmental monitoring, precision agriculture and national security.

Key words: *data encryption, low-orbit aircraft, ChaCha20, quantum key distribution, BB84, cybersecurity.*

Сведения об авторах

Бакыт Махаббат Асхаткызы – докторант кафедры информационной безопасности факультета информационных технологий ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: bakyt.makhabbat@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1246-9696.

Хуралай Молдамурат – доцент кафедры космической техники и технологий ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: moldamurat@yandex.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3691-6948.

Динара Мирзабековна Калманова* – кандидат педагогических наук, и.о. доцента кафедры космической техники и технологий ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: dinara_kalmanova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5977-8448.

Омирзак Коптилеуович Абдирашев – PhD, и.о. доцента кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: omeke_92@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7621-5444.

Асем Адикбеккызы Конырханова – и. о. доцента кафедры Информационная безопасность, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: konyrkhanova_aa@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4923-9800.

Information about the authors

Bakyt Mahabbat Ashatkyzy – PhD student of the Department of Information Security, IT Faculty at the L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan; e-mail: bakyt.makhabbat@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1246-9696.

Khuralai Moldamurat – Associate Professor of the Department of Space Technique And Technology at the L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan; e-mail: moldamurat@yandex.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3691-6948.

Dinara Mirzabekovna Kalmanova* – corresponding author, Candidate of Pedagogical Sciences, acting Associate Professor of the Department of «Space Engineering and Technology» of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: dinara_kalmanova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5977-8448.

Omirzak Koptileuovich Abdirashev – PhD, Acting Associate Professor of the Department of «Space Engineering and Technology» of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: omeke_92@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7621-5444.

Asem Adilbekkyzy Konyrkhanova – a.a. Professor of the Department of Information Security, Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan; e-mail: konyrkhanova_aa@enu.kz.ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4923-9800.

Авторлар туралы мәліметтер

Бақыт Махаббат Асхатқызы – Л.Н. Гумилева ат. ЕҰУ Ақпараттық технологиялар факультетінің Ақпараттық қауіпсіздік кафедрасының докторанты, Астана, Қазақстан; e-mail: bakyt.makhabbat@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1246-9696.

Хуралай Молдамурат – Л.Н. Гумилева ат. ЕҰУ Ғарыштық техника және технологиялар кафедрасының доценті, Астана, Қазақстан; e-mail: moldamurat@yandex.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3691-6948.

Динара Мирзабековна Калманова* – хат-хабар авторы, педагогика ғылымдарының кандидаты, Л. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Ғарыштық технологиялар және технологиялар» кафедрасының доценті, Астана, Қазақстан; e-mail: dinara_kalmanova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5977-8448.

Өмірзақ Көптілеуұлы Әбдірашев – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Ғарыштық технологиялар және технологиялар» кафедрасының доценті, Астана, Қазақстан; e-mail: omeke_92@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7621-5444.

Асем Адилбекқызы Конырханова – Л.Н. Гумилева ат. ЕҰУ Ақпараттық технологиялар факультетінің Ақпараттық қауіпсіздік кафедрасы доцентінің м.а., Астана, Қазақстан; e-mail: konyrkhanova_aa@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4923-9800.

Поступила в редакцию 11.06.2025
Поступила после доработки 16.06.2025
Принята к публикации 23.06.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-4

CC BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 47.14.07, 81.93.29

Н.С. Глазырина[1], А.К. Шайханова[1*], К.М. Аяпбергенов[1], И.А. Сенюшин[1], Р. Муратхан[2]
[1]ТОО «TSARKA R&D»
[2]ТОО «TSARKA LABS»
010000, Республика Казахстан, г. Астана, проспект Кабанбай Батыра 51/1
*e-mail: igul.shaikhanova@gmail.com

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КРИПТОКОНТРОЛЕРА В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Аннотация: *В статье исследуются современные методы производства интегральных схем с целью создания криптоконтроллера в Республике Казахстан. Работа анализирует глобальные тенденции полупроводниковой индустрии, технологические особенности и экономические аспекты производства интегральных схем, а также определяет направления развития полупроводниковой промышленности в Казахстане для разработки аппаратных средств безопасности. Методология исследования включает анализ современных методов проектирования и производства интегральных схем, основанный на сравнении различных технологических процессов, планов и проектов, реализованных в странах, имеющих производственные возможности зрелого, промежуточного и передового интеграции и производительности. Результаты исследований показывают, что для Республики Казахстан, не имеющей собственной производственной базы для интегральных схем, оптимальным подходом является развитие fabless-модели с проектированием внутри страны и производством на сторонних фабриках. Это не требует значительных инвестиций по сравнению с созданием национальных производственных мощностей на зрелых узлах. В работе предлагается поэтапный подход к созданию отечественного криптоконтроллера, начиная с прототипирования на программируемой логике и последующего переноса архитектуры в специализированную интегральную схему. Практическая ценность работы заключается в том, что определены оптимальные возможности для организации производства полупроводниковых микросхем в Казахстане и разработки отечественного криптоконтроллера на уровне, готовом к промышленному производству.*

Ключевые слова: *информационная безопасность, криптоконтроллер, интегральная схема, аппаратная реализация, полупроводниковая промышленность, технологический узел, электронная подпись, FIDO, fabless-модель.*

1 Введение

Полупроводниковые технологии стали неотъемлемой частью современного общества, определяя развитие широкого спектра отраслей. Они играют ключевую роль в миниатюризации электронных компонентов (чипов), повышении производительности и энергоэффективности конечных устройств, что делает технологии доступными для массового применения [1, 2]. Достижения в области проектирования и производства полупроводников

способствуют развитию электронных коммуникаций, искусственного интеллекта, машинного обучения, автоматизированных систем и интернета вещей, тем самым стимулируя технологические инновации [3-6].

Быстрый рост полупроводниковой промышленности в последние годы усилил конкуренцию в глобальной технологической сфере, где передовые разработки тесно переплетаются с экономическим развитием государств. Согласно данным Ассоциации полупроводниковой промышленности (SIA), мировые продажи полупроводников в 2020 году увеличились на 6,5% по сравнению с 2019 годом, составив около 43,9 млрд долларов США [7]. В 2021 году рост продолжился и достиг 26,2%, превысив 55 млрд долларов США. В 2024 году рост мирового сектора полупроводников составил 16,0% в годовом исчислении [8]. При этом две категории интегральных схем станут основными драйверами роста с двузначным приростом: логические схемы (10,7%) и память (76,8%). Зафиксирован значительный рост полупроводниковой промышленности в странах Северной и Южной Америке, Азиатско-Тихоокеанском регионе на 25,1% и 17,5% [8].

Развитие полупроводниковой промышленности сегодня является ключевым фактором научно-технического прогресса, определяющим возможности цифровизации, автоматизации и обеспечения кибербезопасности. Индустрия полупроводников эволюционировала от планарных транзисторов к трёхмерным архитектурам и экстремальной литографии, что позволило достичь рекордных показателей производительности и энергоэффективности. Однако доступ к передовым технологиям концентрируется в ограниченном числе стран, что усиливает технологическую зависимость и формирует новые геополитические риски.

Одновременно возрастает значимость аппаратной информационной безопасности. Традиционные программные решения подвержены широкому спектру атак, тогда как специализированные аппаратные устройства, такие как криптоконтроллеры и аппаратные токены, обеспечивают принципиально более высокий уровень доверия и устойчивости к угрозам [9].

В настоящее время нами выполняются прикладные исследования в рамках научного проекта AP26103891 «Разработка отечественного криптоконтроллера и его имплементация в устройстве хранения ключей», финансируемые Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Целью данного проекта является создание отечественного криптоконтроллера с аппаратной реализацией криптографических алгоритмов и разработка на его основе носителя ключевой информации (USB-токена), предназначенного для безопасной аутентификации и защиты данных в системах, поддерживающих стандарт быстрой интернет-аутентификации (Fast Identity Online, FIDO) [10] и алгоритмы электронной цифровой подписи. Планируется выполнить аппаратную реализацию криптографических алгоритмов непосредственно на уровне микросхемы с использованием современных технологий проектирования электронных устройств.

В этой связи ставится задача анализа современных методов проектирования и производства интегральных схем. Такая аналитика необходима для определения оптимальных возможностей организации производства полупроводниковых микросхем в Республике Казахстан, с учётом требований по уровню технологического контроля, локализации процессов и перспектив дальнейшей коммерциализации полученных результатов. Разработка отечественного криптоконтроллера на уровне готовности к промышленному производству будет способствовать укреплению цифрового суверенитета, научного и кадрового потенциала в области микроэлектроники и кибербезопасности Республики Казахстан.

Цель настоящей работы является анализ глобальных тенденций развития полупроводниковой индустрии, изучение технологических особенностей и экономических аспектов производства интегральных схем, а также определение направлений развития полупроводниковой промышленности в Республике Казахстан, в том числе в целях разработки аппаратных средств безопасности.

2 Методы исследования

Анализ современных методов проектирования и производства интегральных схем проведен на основе сравнения типов технологических узлов, используемых в полупроводниковой индустрии. На протяжении десятилетий динамика эволюции узлов описывалась законом Мура, предполагающим регулярное уменьшение размеров транзисторов и рост числа элементов на кристалле [11].

Ранние технологические процессы (process node, процессорный узел или node) именовались по минимальному размеру элемента транзистора Gate Length (Lg) – расстоянию между двумя контактами транзистора (drain и source), которое указывает на то, как быстро и эффективно работает транзистор (рис.1). Однако это перестало соответствовать действительности в 1994-1997 годах [12]. До узла 0,25 мкм Intel начала вводить более агрессивное масштабирование длины затвора. Например, процесс 0,25 мкм имел Lg = 0,20 мкм, а процесс 0,18 мкм имел GL = 0,13 мкм (на узел вперед), то есть «процессный узел» был фактически больше длины затвора. С тех пор термин стал ещё более маркетинговом, теперь даже при описании современных транзисторов может не использоваться термин длина затвора, но при этом техпроцессы продолжают называться 5, 3 или 2 нм.

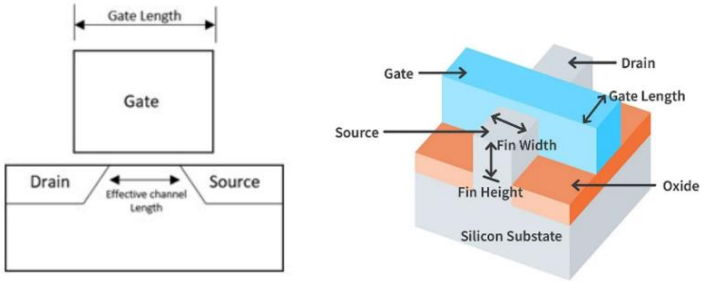


Рисунок – 1 Длина затвора для планарных и 3D транзисторов

На рисунке 1 также представлен вид непланарного FinFET (Fin Field-Effect Transistor), используемого при разработке современных процессоров. Это модификация традиционного металл-оксидного транзистора, которая позволяет преодолеть ограничения планарных CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) транзисторов, особенно при уменьшении длины затвора.

В настоящее время используются следующие термины, определяющие группы технологических процессов, через которые можно также проследить преемственность технологий типов планарных транзисторов, литографических процессов и архитектурных решений:

– зрелые узлы (mature node, Lg ≥ 28 нм), применяются преимущественно в автомобильной, военной и космической электронике; их ключевыми характеристиками являются низкая стоимость, надёжность и устойчивость к внешним воздействиям [13];

– промежуточные узлы (intermediate, Lg ~10–22/28 нм), связаны с переходом к трёхмерным транзисторным структурам (FinFET) и внедрением усовершенствованных DUV- и EUV-литографических процессов [14];

– передовые узлы (leading-edge, Lg ≤ 7 нм), реализуются на базе FinFET и Gate-All-Around (GAA) FET (рис. 2), обеспечивая максимальную плотность интеграции и производительность при значительном увеличении стоимости и сложности производства [15].

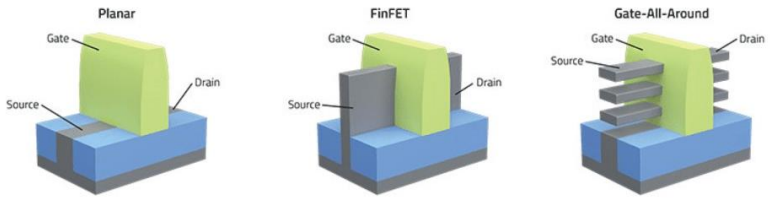


Рисунок 2 – Сравнение архитектур планарных CMOS, FinFET и GAA транзисторов

3 Результаты исследований

Анализ методов проектирования современных электронных узлов показа, что представленной выше разделение на группы технологических узлов отражает не только инженерные особенности масштабирования. Выбор того или иного типа технологического узла зависит от предполагаемой сферы применения (табл. 1), а также глобального распределения производственных компетенций.

Таблица 1 – Распределение технологий в зависимости от сферы применения конечной продукции

Отрасль	Преобладающая технология
Автомобильная	40-90 нм для ECU/MCU; 7-5 нм
Бытовые приборы	180-130 нм MCU/SoC
IoT	50-180 нм
Космос	180-65 нм (радиационно стойкие FPGA/MCU/ASIC)
Военная техника	180-65 нм
Ноутбуки/ПК	5-3 нм (CPU/GPU/SoC); 10-28 нм для отдельных чиплетов/IO
Смартфоны	4-3 нм

Возможности по освоению тех или иных узлов в значительной степени определяются уровнем национальной технологической базы, инвестициями и доступом к современному оборудованию. В результате мировая полупроводниковая промышленность характеризуется высокой степенью географической концентрации, когда лишь ограниченное число стран располагает производственными мощностями на передовых узлах. В результате несколько стран (Тайвань, Южная Корея и США) контролируют узлы 3-2 нм, компании Японии уверенно производят в диапазоне 40 нм и частично на 6/7 нм, а европейские предприятия ограничены уровнем 12-18 нм, Россия располагает производственными возможностями на уровне 90–180 нм. Более подробная информация распределению минимальных возможностей по странам приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Минимальные технологии производства планарных транзисторов с распределением по странам

Страна / регион	Минимальный технологический процесс на своей территории
Тайвань	3 нм / 2 нм [16]
Южная Корея	3 нм/ 2 нм – с 2025–2027 гг. [17]
США	3 нм с учетом строящегося завода TSMC в Аризоне [18]
Япония	JASM – 6/7 нм [19], Rapidus – 40 нм [20]
Китай	7 нм [21]
Европа (континент)	16/12 нм [22], 18 нм [23]
Ирландия	3 нм (34Fab Intel node) [24]
Израиль	16/14 нм [25]
Сингапур	22 нм [26]
Россия	90 нм [27]

Приведённые в таблице 2 страны направляют финансирование на усовершенствование технологических процессов, кроме того есть новые страны, которые врываются в индустрию с целью сокращения затрат на потребление чипов внутри страны или на рост ВВП. На основе анализа исследований планов и инвестиционных проектов таких стран как Украина, Индия, Германия и Япония, можно выделить ориентировочные стоимости таких фабрик, данные по которым приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка стоимости проектов по старту фабрикации полупроводниковых чипов

Тип завода	Уровень технологии	Инвестиции, $	Ключевые достоинства	Ключевые недостатки
Mature node	~180-28 нм	$1–3 млрд [28]	Полный контроль; нацпроект, развивающий смежные отрасли; независимость (при локализации поставок)	Очень высокие фиксированные затраты; риски недозагрузки и устаревания; потребность в кадрах-экспатах
Intermediate node	< 28 нм	$5-10+ млрд [29]	Доступ к передовым чипам внутри страны; престиж и лидерство; потенциал экспорта глобально	Экстремальные затраты; почти недостижимо без международного консорциума; нужен огромный рынок сбыта

Fabless-модель (от англ. fabrication-less – «без производства») [30] представляет собой бизнес-модель полупроводниковой индустрии, при которой компания специализируется исключительно на разработке и проектировании интегральных микросхем, передавая их производство сторонним фабрикам-подрядчикам (foundries). Данная модель, используемая такими лидерами как Qualcomm, NVIDIA, AMD и Apple, позволяет концентрировать ресурсы на инновационной составляющей, в то время как капиталоёмкое производство осуществляется специализированными фабриками. Важным инструментом для стартапов являются программы MPW (Multi Project Wafer) [31], позволяющие нескольким проектам совместно использовать одну кремниевую пластину для изготовления прототипов по стоимости от $10,000 до $100,000, что делает доступным создание прототипов даже для небольших команд и университетов на передовых процессах до 7 нм и 5 нм.

4 Обсуждение научных результатов

В современных условиях Республика Казахстан не имеет собственной производственной базы, что обусловливает необходимость выбора стратегического пути: развитие fabless-модели, предполагающей проектирование внутри страны и производство за её пределами, либо формирование национальных производственных мощностей на зрелых узлах для обеспечения внутренних потребностей.

Вопрос локализации напрямую связан не только с экономическими показателями, но и с безопастностью, так как необходим контроль производства микросхем, которые непосредственно используются в сфере безопастности. В рамках работы ведется разработка специализированной микросхемы (ASIC – application specific integrated circuit) для выполнения задач реализации аппаратного исполнения криптографических алгоритмов, которые применяются в средствах аутентификации пользователей, ЭЦП и, потенциально, в устройствах обеспечивающих защищенную связь.

Современные протоколы аутентификации (например, FIDO2) и электронная подпись (ЭЦП) могут иметь программную, аппаратную и программно-аппаратную реализацию. Однако аппаратная реализация считается наиболее защищенной и является обязательной для некоторых применений, например SP 800-63B [32], где средства аутентификации и идентификации должны быть аппаратами для уровня AAL3, или FIPS 201-3 [33], где для уровня выше 2 должно обеспечиваться физическая защита уровня 3 по FIPS 140 [34]. Их ключевое преимущество заключается в изоляции криптографических операций от операционной системы и пользовательского окружения, разделение интерфейсов, что существенно снижает риск компрометации ключей.

Мировая практика демонстрирует, что наибольшую надёжность и производительность в области криптографической защиты обеспечивают решения на основе специализированных интегральных схем (ASIC). Такой подход позволяет реализовывать алгоритмы непосредственно на аппаратном уровне, интегрируя их в архитектуру элементарных логических структур (планарных транзисторов микросхем). В отличие от этого, использование микроконтроллеров общего назначения, а также микроконтроллеров с расширенными функциями безопасности не может считаться полностью аппаратным решением. В подобных случаях криптографический алгоритм (например, ГОСТ Р 34.12-2015) хранится в виде программного кода, что теоретически повышает уязвимость системы к различным видам атак. Следует отметить, что на рынке существуют устройства аутентификации, построенные на основе микроконтроллеров. Примерами являются решения компаний Yubico, Google Titan, а также ряд промышленных токенов, используемых в финансовом секторе. Однако зависимость от зарубежных микросхем существенно ограничивает возможности их сертификации по национальным стандартам как средств с аппаратной реализацией криптографических алгоритмов. Более того, отсутствие контроля над цепочкой проектирования, производства и поставки создаёт риски технологической уязвимости. В этой связи ключевым условием обеспечения доверенной инфраструктуры является развитие собственных производственных возможностей по созданию микросхем с криптографическими функциями, которые аппаратно поддерживают необходимые алгоритмы.

Создание отечественного криптоконтроллера предполагает решение комплекса технологических и организационных задач. Во-первых, требуется определить оптимальный класс технологического узла. Для задач безопасности не всегда необходимы узлы ≤7 нм,

зрелые технологии на уровне 90-130 нм остаются востребованными благодаря надёжности, радиационной стойкости и более низким затратам на производство.

Во-вторых, важным направлением является аппаратная реализация криптографических алгоритмов. Переход от программных решений к аппаратным повышает эффективность и стойкость к атакам по сторонним каналам (side-channel attack) на микроконтроллеры, что критично при реализации алгоритмов ЭЦП и протокола FIDO2.

В-третьих, путь к созданию полупроводниковых микросхем (серийный IC или специализированный ASIC) целесообразно строить поэтапно и следует минимально начать с создания собственной архитектуры, которую можно производить на внешних фабриках под своим контролем. При необходимости можно делать приемку 1-5% готовой продукции на рентген контроле для выявления аппаратных закладок.

Проектирование архитектуры, в свою очередь, можно также разложить на этапы: на первом этапе – про Приведённые в таблице 2 страны направляют финансирование на усовершенствование технологических процессов, кроме того есть новые страны, которые врываются в индустрию с целью сокращения затрат на потребление чипов внутри страны или на рост ВВП. На основе анализа исследований планов и инвестиционных проектов таких стран как Украина, Индия, Германия и Япония, можно выделить ориентировочные стоимости таких фабрик, данные по которым приведены в таблице 3.

тотипирование на ПЛИС, на втором – оптимизация архитектуры и перенос в специализированную интегральную схему. Такой подход соответствует мировой практике проектирования и позволяет минимизировать затраты при сохранении высокого уровня надёжности.

5 Заключение

Современное развитие полупроводниковой индустрии и рост киберугроз определяют необходимость создания отечественных решений в области аппаратной криптографии. Криптоконтроллеры и аппаратные токены занимают центральное место в архитектуре доверенной среды, обеспечивая защиту от внешних воздействий и снижение зависимости от зарубежных технологий.

Для Республики Казахстан разработка отечественного криптоконтроллера представляется стратегически значимым направлением. Наиболее реалистичной траекторией развития полупроводниковой промышленности является реализация fabless-модели, что позволит одновременно получить доступ к передовым технологиям и формировать собственный кадровый и научный потенциал. В работе показано, что для задач безопасности не всегда требуются передовые узлы. Аппаратная реализация криптографических алгоритмов на специализированных интегральных схемах (ASIC) считается более надёжной, чем программные решения на микроконтроллерах общего назначения. Предлагается поэтапный подход к созданию отечественного криптоконтроллера, начиная с прототипирования на программируемых логических интегральных схемах и последующего переноса архитектуры в ASIC.

Список литературы

1. A 220-GHz Energy-Efficient High-Data-Rate Wireless ASK Transmitter Array / B. Hadidian et al // IEEE Journal of Solid-State Circuits. – 2022. – Vol. 57, № 6. – P. 1623-1634.
2. Calazans N.L.V. Robust and energy-efficient hardware: the case for asynchronous design / N.L.V. Calazans, T.A. Rodolfo, M.L.L. Sartori // Journal of Integrated Circuits and Systems. – 2021. – T. 16, № 2. – P. 1-11.
3. Matuska S. Internet of Things Platform for Rapid Development and Learning / S. Matuska, R. Hudec, P. Kamencay // 2019 17th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA). – IEEE, 2019. – P. 512-517.
4. Bhalerao S.R. Flexible, solution-processed, indium oxide (In2O3) thin film transistors (TFT) and circuits for internet-of-things (IoT) / S.R. Bhalerao, D. Lupo, P.R. Berger // Materials Science in Semiconductor Processing. – 2022. – Vol. 139. – P. 106354.
5. Survey of photonic and plasmonic interconnect technologies for intra-datacenter and high-performance computing communications / C.A. Thraskias et al // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2018. – Vol. 20, № 4. – P. 2758-2783.
6. High-brightness, high-speed, and low-noise VCSEL arrays for optical wireless communication / Z. Khan et al // IEEE Access. – 2021. – Vol. 10. – P. 2303-2317.

7. Assessing the contribution of semiconductors to the sustainable development goals (SDGs) from 2017 to 2022 / S. Hsieh et al // Heliyon. – 2023. – Vol. 9, № 11. – P. 1-10.
8. WSTS Semiconductor Market Forecast Spring 2024 [electronic resource]. – 2024. – URL: https://www.wsts.org/76/103/WSTS-Semiconductor-Market-Forecast-Spring-2024 (date of request: 12.03.2025).
9. Advancing Passwordless Authentication: A Systematic Review of Methods, Challenges, and Future Directions for Secure User Identity / M.I.M. Yusop et al // IEEE Access. – 2025. – Vol. 13. – P. 13919-13943.
10. Okeke F., Pankratyeva A. FIDO2 & Passkeys: The Future of Passwordless Authentication [electronic resource]. – 2025. – URL: https://www.techopedia.com/passwordless-authentication-fido2-passkeys (date of request: 12.03.2025 г.).
11. Song J. The history and trends of semiconductor materials' development / J. Song // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2023. – Vol. 2608, № 1. – P. 012019.
12. Moore S.K. A Better Way to Measure Progress in Semiconductors [electronic resource]. – 2020. – URL: https://spectrum.ieee.org/a-better-way-to-measure-progress-in-semiconductors (date of request: 12.03.2025 г.).
13. Theis T.N. The End of Moore's Law: A New Beginning for Information Technology / T.N. Theis, H.-S.P. Wong // Computing in Science & Engineering. – 2017. – Vol. 19(2). – P. 41-50.
14. Yin H. Advanced Transistor Process Technology from 22-to / H. Yin, J. Yao // Complementary Metal Oxide Semiconductor. – 2018. – Chapter 2. – P. 11-26.
15. Das U.K. Opportunities in device scaling for 3-nm node and beyond: FinFET versus GAA-FET versus UFET / U.K. Das, T.K. Bhattacharyya // IEEE transactions on electron devices. – 2020. – V. 67, № 6. – P. 2633-2638.
16. Tung C.-Y. Taiwan and the global semiconductor supply chain [electronic resource]. – 2020. – URL: https://roc-taiwan.org/uploads/sites/86/2024/02/February-2024-Issue.pdf. (date of request: 12.03.2025 г.).
17. Friedman A.History is made! Samsung beats out TSMC and starts shipping 3nm GAA chipsets [electronic resource]. – 2022. – URL: https://www.phonearena.com/news/samsung-first-to-ship-3nm-gaa-chips_id141505 (date of request: 12.03.2025 г.).
18. TSMC to Invest $100B in US Chip Manufacturing Expansion [electronic resource]. – 2025. – URL: https://manufacturing-today.com/news/tsmc-to-invest-100b-in-us-chip-manufacturing-expansion/ (date of request: 12.03.2025 г.).
19. JASM Set to Expand in Kumamoto Japan Expansion [electronic resource]. – 2024. – URL: https://www.sony-semicon.com/en/news/2024/2024020601.html (date of request: 12.03.2025 г.).
20. Grant-Chapman H., McGee T. Japan's Chip Challenge: Semiconductor Policy for the Data Centre Era [electronic resource]. – 2024. – URL: https://cetas.turing.ac.uk/publications/japans-chip-challenge-semiconductor-policy-data-centre-era (date of request: 12.03.2025 г.).
21. Castellano R. How China Is Reaching 5nm Without EUV, and How That Impacts ASML [electronic resource]. – 2025. – URL: https://drrobertcastellano.substack.com/p/how-china-is-reaching-5nm-without (date of request: 12.03.2025 г.).
22. European Semiconductor Manufacturing Company (ESMC). What we do [electronic resource]. – 2025. – URL: https://www.esmc.eu/en/who_we_are.html (date of request: 12.03.2025 г.).
23. France Must Attain 2–10nm Advanced Semiconductor Manufacturing Capabilities [electronic resource]. – 2025. – URL: https://www.trendforce.com/news/2025/06/18/news-macron-france-must-attain-2-10nm-advanced-semiconductor-manufacturing-capabilities/ (date of request: 12.03.2025 г.).
24. Gerstl S. Ireland introduces 3-nanometer process in Europe [electronic resource]. – 2025. – URL: https://www.all-about-industries.com/ireland-introduces-3-nanometer-process-in-europe-a-2c64c062331ab02d49ffc1c49f65a9f2/ (date of request: 12.03.2025 г.).
25. Challenges for Israeli Semiconductor Startups Manufacturing on Advanced Nodes [electronic resource]. – 2025. – URL: https://arnontl.com/news/challenges-for-israeli-semiconductor-startups-manufacturing-on-advanced-nodes/ (date of request: 12.03.2025 г.).
26. Grasping the Trend: Chip Wars Escalate In The AI Era, Singapore's Semiconductor Sector Emerges Strong [electronic resource]. – 2025. – URL: https://www.a-star.edu.sg/News/astarNews/news/features/singapore-semiconductor-rise-ai-chip-wars (date of request: 12.03.2025 г.).

27. Shilov A. Russia on track to manufacture 28nm chips in domestic fabs by 2030, 19 years after tech first debuted [electronic resource]. – 2025. – URL: https://www.tomshardware.com/tech-industry/russia-says-its-on-track-to-manufacture-28nm-chips-in-its-own-fabs-by-2030-the-tech-first-debuted-15-years-ago (date of request: 12.03.2025 г.).
28. Microelectronics. Robert Bosch Semiconductor Manufacturing Dresden: Interview with Dr. Christian Koitzsch, Plant Manager [electronic resource]. – 2025. – URL: https://silicon-saxony.de/en/robert-bosch-semiconductor-manufacturing-dresden-interview-with-dr-christian-koitzsch-plant-manager/ (date of request: 12.03.2025 г.).
29. Giant leap for India Semiconductor Mission: Cabinet approves three more semiconductor units [electronic resource]. – 2024. – URL: https://www.pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=2010132 (date of request: 12.03.2025 г.).
30. Singh K.B. Manufacturing of Semiconductor Chips: From Their Origins to the Current Automotive Chip Crisis / K.B. Singh, S.C. Misra // IEEE Engineering Management Review. – 2024. – P. 1-19.
31. Çeliker H. Multi-project wafers for flexible thin-film electronics by independent foundries / H. Çeliker, W. Dehaene, K. Myny // Nature. – 2024. – V. 629, № 8011. – P. 335-340.
32. Draft nist special publication 800-63b digital identity guidelines / P.A. Grassi et al // National Institute of Standards and Technology (NIST). – 2016. – V. 27. – P. 1-46.
33. PUB F. Personal Identity Verification (PIV) of Federal Employees and Contractors. [electronic resource]. – 2022. – URL: https://csrc.nist.gov/pubs/fips/201-3/final (date of request: 12.03.2025 г.).
34. FIPS 140-3. Security Requirements for Cryptographic Modules [electronic resource]. – 2022. – URL: https://csrc.nist.gov/pubs/fips/140-3/final (date of request: 12.03.2025 г.).

Информация о финансировании

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP26103891).

Н. Глазырина[1], А. Шайханова[1]*, К. Аяпбергенов[1], И. Сенюшин[1], Р. Мұратхан[2]
[1]TSARKA R&D ЖШС,
[2]TSARKA LABS ЖШС,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қабанбай батыр даңғылы 51/1
*e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА КРИПТОБАҚЫЛАУДЫ ҚҰРУ ҮШІН ИНТЕГРАЦИЯЛЫҚ ТІЛБЕЛЕРДІ ӨНДІРУДІҢ ҚАЗІРГІ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ

Мақалада Қазақстан Республикасында криптографиялық контроллерді құру мақсатында интегралды микросхемалар өндірісінің заманауи әдістері зерттеледі. Жұмыста жартылай өткізгіштер өнеркәсібіндегі әлемдік тенденциялар, интегралдық микросхемалар өндірісінің технологиялық ерекшеліктері мен экономикалық аспектілері талданады, сондай-ақ қауіпсіздік техникасын дамыту үшін Қазақстанда жартылай өткізгіш өнеркәсібінің даму бағыттары айқындалады. Зерттеу әдістемесі дамыған, орта және алдыңғы қатарлы интеграциялық және өнімділік мүмкіндіктері бар елдерде жүзеге асырылатын әртүрлі технологиялық процестерді, жоспарларды және жобаларды салыстыруға негізделген заманауи интегралды схемаларды жобалау және өндіру әдістерін талдауды қамтиды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жеке интегралды схемалар өндірісінің базасы жоқ Қазақстан Республикасы үшін оңтайлы тәсіл ел ішінде дизайнмен және үшінші тарап құю зауыттарында өндірілетін фабельсіз модельді әзірлеу болып табылады. Бұл жетілген түйіндерде ұлттық өндірістік қуаттарды құрумен салыстырғанда айтарлықтай инвестицияны қажет етпейді. Бұл мақалада бағдарламаланатын логикада прототиптеуден бастап, кейіннен архитектураны мамандандырылған интегралды схемаға көшіруден бастап, отандық криптоконтроллерді құрудың кезеңдік тәсілі ұсынылады. Жұмыстың практикалық құндылығы Қазақстанда жартылай өткізгіш микрочиптер өндірісін ұйымдастырудың оңтайлы мүмкіндіктерін анықтауда және өнеркәсіптік өндіріске дайын деңгейде отандық криптоконтроллерді әзірлеуде жатыр.

Түйін сөздер: *ақпараттық қауіпсіздік, криптографиялық контроллер, интегралды схема, аппараттық қамтамасыз ету, жартылай өткізгіш өнеркәсібі, технологиялық түйін, электронды қолтаңба, FIDO, fabless модель.*

N. Glazyrina[1], A. Shaikhanova[1]*, K. Ayapbergenov[1], I. Seniushin[1], R. Muratkhan[2]
[1]TSARKA R&D LLP,
[2]TSARKA LABS LLP,
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Kabanbay Batyr Avenue 51/1
*e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz

ANALYSIS OF MODERN METHODS FOR PRODUCING INTEGRATED CIRCUITS FOR CREATION OF A CRYPTOCONTROLLER IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

The article explores modern integrated circuit production methods with the aim of creating a crypto controller in the Republic of Kazakhstan. The paper analyzes global trends in the semiconductor industry, technological features and economic aspects of integrated circuit production, and also identifies directions for the development of the semiconductor industry in Kazakhstan for the development of security hardware. The research methodology includes an analysis of modern integrated circuit design and manufacturing methods, based on a comparison of various technological processes, plans, and projects implemented in countries with mature, intermediate, and leading-edge integration and productivity capabilities. Research results show that for the Republic of Kazakhstan, which lacks its own integrated circuit production base, the optimal approach is to develop a fabless model with design within the country and production at third-party foundries. This doesn't require significant investment compared to building national production capacity in mature nodes. The paper proposes a phased approach to creating a domestic crypto controller, starting with prototyping on programmable logic and subsequently transferring the architecture to a specialized integrated circuit. The practical value of the work lies in the identification of optimal opportunities for organizing the production of semiconductor microchips in Kazakhstan and developing a domestic crypto controller at a level ready for industrial production.

Key words: *information security, crypto controller, integrated circuit, hardware implementation, semiconductor industry, technological node, electronic signature, FIDO, fabless model*

Сведения об авторах

Наталья Сергеевна Глазырина – PhD, ассоциированный профессор, координатор научный проектов, ТОО «TSARKA R&D», г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: glazyrina_ns_1@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0259-774X.

Айгуль Кайрулаевна Шайханова* – PhD, ассоциированный профессор, координатор научный проектов, ТОО «TSARKA R&D», г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Камиль Муратович Аяпбергенов – системный инженер, ТОО «TSARKA R&D», г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: ayapbergenov.kamil@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-3906-1873.

Игорь Анатольевич Сенюшин – проектный менеджер, ТОО «TSARKA R&D», г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: sigor@cybersec.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0008-4479-4478.

Райхан Муратхан – PhD, научный сотрудник ТОО «TSARKA Labs», г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: raikhan.muratkhan@mail.ksu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2030-8948.

Авторлар туралы мәліметтер:

Наталья Сергеевна Глазырина – PhD докторы, доцент, «TSARKA R&D» ЖШС ғылыми жоба үйлестірушісі, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: glazyrina_ns_1@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0259-774X.

Айгүл Қайрулақызы Шайханова* – PhD докторы, доцент, «TSARKA R&D» ЖШС ғылыми жоба үйлестірушісі, Астана, Қазақстан Республикасы; e-mail: igul.shaikhanova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Камил Мұратұлы Аяпбергенов – «TSARKA R&D» ЖШС инженер-жүйе жөніндегі инженер, Қазақстан Республикасы, Астана қ.; e-mail: ayapbergenov.kamil@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-3906-1873.

Игорь Анатольевич Сенюшин – «TSARKA R&D» ЖШС жоба жетекшісі, Астана, Қазақстан Республикасы; e-mail: sigor@cybersec.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0008-4479-4478.

Райхан Мұратхан – PhD, ғылыми қызметкер, «TSARKA Labs» ЖШС, Астана, Қазақстан Республикасы; e-mail: raikhan.muratkhan@mail.ksu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2030-8948.

Information about the authors

Natalya Glazyrina – PhD, associate professor, scientific project coordinator, TSARKA R&D LLP, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: glazyrina_ns_1@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0259-774X.

Aigul Shaikhanova* – PhD, associate professor, scientific project coordinator, TSARKA R&D LLP, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: igul.shaikhanova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.
Kamil Ayapbergenov – Systems Engineer, TSARKA R&D LLP, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: ayapbergenov.kamil@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-3906-1873.
Igor Seniushin – Project Manager, TSARKA R&D LLP, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: sigor@cybersec.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0008-4479-4478.
Raikhan Muratkhan – PhD, Researcher, TSARKA Labs LLP, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: raikhan.muratkhan@mail.ksu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2030-8948.

Поступила в редакцию 20.07.2025
Поступила после доработки 20.08.2025
Принята к публикации 21.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-5

ҒТАХР: 50.47.29

CC BY 4.0
Check for updates

Қ. Махамбетов*, Б.А. Бельгибаев[1], N. Kunicina[2]
[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Аль-Фараби к-сі, 71
[2]Riga Technical University
LV-1048, Latvia, Riga, Ķīpsalas Street, 6A
*e-mail: 1998kaldybek@gmail.com

ТАМАҚ ӨНЕРКӘСІБІНДЕ ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕРДІ ҚҰРУ ҮШІН MATLAB PDE TOOLBOX КӨМЕГІМЕН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа: *Мақалада MATLAB PDE Toolbox көмегімен тамақ өнеркәсібінің өндіріс жүйелеріндегі термодинамикалық процестерді модельдеу тәсілі қарастырылады. Зерттеудің негізгі мақсаты – жылу процестерін имитациялауға және өндірістік операцияларды оңтайландыруға мүмкіндік беретін цифрлық егіздерді құру. Зерттеу барысында модельдеудің дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз ететін Нейман және Дирихле шекаралық шарттарын ескере отырып, жылу өткізгіштік теңдеулерін қолдануға баса назар аударылады. 2D кеңістігіндегі температура өрістерінің динамикалық өзгерістерін көрсететін есептеу эксперименттерінің нәтижелері берілген. Температураның таралуына жылу өткізгіштік, тығыздық және меншікті жылу сыйымдылығы сияқты физикалық параметрлердің әсеріне басты назар аударылады. Алынған мәліметтерді тамақ өнеркәсібіндегі өндірістік процестердің энергия тиімділігі мен сапасын арттыру үшін пайдалануға болады.*

Зерттеу нәтижесінде MATLAB PDE Toolbox жүйесінде температуралық өрістерді сипаттайтын модель әзірленді. Әзірленген модель цифрлық егіздер саласындағы әрі қарай зерттеулерге және SIEMENS NX сияқты өнеркәсіптік модельдеу құралдарымен, сондай-ақ PML платформаларымен интеграциялау үшін негіз болады. Осы зерттеу барысында модельдің оңтайлы параметрлерін анықтау үшін әртүрлі жылу беру коэффициенттері мен шекаралық шарттар сыналған. Мақаланың соңында ұсынылған соңғы нәтиже термодинамикалық процестердің біркелкі және дұрыс таралуын көрсетеді, ұсынылған тәсілдің тиімділігін растайды. Болашақта бұл тәсілді термиялық процестерді талдауға ғана емес, сонымен қатар технологиялық процестердің бейімділігі мен тиімділігін арттыра отырып, термиялық өңдеуді басқарудың интеллектуалды жүйелерін дамытуға мүмкіндік беретін күрделі виртуалды өндіріс жүйелерін құру үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: *цифрлық егіздер, жылу беру, MATLAB PDE Toolbox, FEM, жылу теңдеуі, шекаралық шарттар, цифрлық модельдеу, температуралық өрісті талдау, энергия тиімділігі, жылулық процесті оңтайландыру.*

Кіріспе

Тамақ өнеркәсібіндегі технологиялық процестерді жобалау және оңтайландырудың заманауи тәсілдері цифрлық егіз тұжырымдамасын белсенді түрде қолданады [1]. Бұл виртуалды модельдер өндіріс жүйелерінің әрекетін нақты уақыт режимінде талдауға және болжауға мүмкіндік береді, осылайша олардың тиімділігін арттыруға, энергия шығындарын азайтуға және өнім сапасын жақсартуға көмектеседі [2].

Цифрлық егіздерді құрудың негізгі аспектілерінің бірі материалдардың физикалық қасиеттері мен сыртқы әсерлердің күрделі өзара әрекеттесуін ескере отырып, жылу алмасу сияқты термодинамикалық процестерді модельдеу болып табылады. Мұндай модельдерді құру үшін жылу алмасу есептерін жоғары дәлдікпен шешу үшін күрделі геометриялық объектілерді элементтердің соңғы санына бөлуге мүмкіндік беретін ақырлы элементтер әдісі (FEM) қолданылады. FEM жылу теңдеулерінің цифрлық шешімін қамтамасыз етеді, оның ішінде Нейман және Дирихле шарттары сияқты күрделі шекаралық шарттарды қарастыру [3].

Бұл жұмыста MATLAB PDE Toolbox FEM енгізу құралы ретінде пайдаланылады, ол жылу процестерін модельдеу және талдау үшін кең мүмкіндіктер береді. Бұл құрал жылу өткізгіштік, тығыздық және меншікті жылу сыйымдылығы сияқты материалдардың физикалық параметрлерін көрсетуге және модельдеу нәтижелерін температура өрістері ретінде визуализациялауға мүмкіндік береді.

Жұмыс аясында келесі міндеттер қойылады:

- Жылуөткізгіштік, тығыздық және меншікті жылу сыйымдылығы сияқты физикалық параметрлердің жылу алмасу процесіне әсерін талдау.
- Модельдеу дәлдігін арттыру үшін Нейман және Дирихле шекаралық шарттарын қолдану.
- Құрылған модельдің әлеуетін көрсету үшін температура өрісінің динамикасын визуализациялау.

Бұл зерттеудің мақсаты температуралық өрістердегі динамикалық өзгерістерді есепке алуға мүмкіндік беретін ақырлы элементтер әдісін (FEM) қолдану арқылы 2D кеңістіктегі жылу процестерінің цифрлық моделін әзірлеп, тамақ өнеркәсібінің цифрлық егізін құру болып табылады. Себебі цифрлық егіз қарқынды дамып келе жатқан Industry 4.0 концепциясының ажырамас бір бөлігі бола отырып, өте көп мүмкіндіктерге жол ашады. Цифрлық егіз, өнеркәсіптегі процесстердің дәл көшірмесі ретінде өнеркәсіпті оңтайлы басқаруға, бақылауға, жаңаша өзгерістердің процесске ықпалын аз ғана шығынмен зерттеуге, болжауға, ауыстыру қажет бөлшектерді алдын ала көруге мүмкіндік береді. Зерттеудің түпкілікті мақсаты өнеркәсіптің осындай жетілдірілген цифрлық егізін құру.

Теориялық негіздері мен әдістері

Жылу процестері температура айырмашылығынан туындаған материалдың ішінде немесе объектілер арасында жылу энергиясын беруді сипаттайды. Бұл процестер инженерлік және өндірістік тапсырмаларда, әсіресе тамақ өнеркәсібінде, өнімнің сапасын қамтамасыз ету және энергия шығындарын оңтайландыру үшін температураны қатаң бақылау қажет болатын сәтте негізгі рөл атқарады. Жылу берудің негізгі механизмдері:

Кондукция (жылу өткізгіштік): молекулалардың, атомдардың немесе электрондардың өзара әрекеттесуіне байланысты жылу энергиясын зат арқылы беру. Өткізгіштік қатты денелерде, сұйықтарда және газдарда болады, бірақ осы мақаланың контекстінде қатты материалдар арқылы жылу алмасуға баса назар аударылады. Өткізгіштік модельдеу цифрлық егіздерді құруға тікелей әсер ететін пештер немесе жылу алмастырғыштар сияқты өндірістік активтер ішінде температураның қалай бөлінетіні туралы түсінік береді.

Конвекция: жылу энергиясын сұйық немесе газ ағындары арқылы беру. Тамақ өнеркәсібінің өндірістік процестерінде конвекция, мысалы, өнімдер ауа, сұйықтық ағынымен қыздырылған немесе салқындаған кезде пайда болуы мүмкін. Бұл мақалада конвекция пеш-шкаф ішіндегі жылу таралуы ішкі фактор ретінде қарастырылады [3].

Жартылай дифференциалдық теңдеулер (PDEs) – бірнеше айнымалылардың белгісіз функциясының жеке туындылары бар теңдеулер. Олар жылу алмасу, толқынның таралуы, гидродинамика және басқа да көптеген физикалық процестерді сипаттайтын қуатты құрал болып табылады [4].

Дербес дифференциалдық теңдеудің жалпы түрін былай жазуға болады:

$$F\left(x_1, x_2, \ldots, x_n, u, \frac{\partial u}{\partial x_1}, \frac{\partial u}{\partial x_2}, \ldots, \frac{\partial^2 u}{\partial x_i \partial x_j}, \ldots\right) = 0, \quad (1)$$

Мұндағы (1-формула) $u = u(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ белгісіз функция, ал F берілген функция, оған u, оның бірінші, екінші немесе жоғары ретті ішінара туындылары кіруі мүмкін. Жартылай дифференциалдық теңдеулер келесіге бөлінеді: параболалық теңдеулер: уақыт өте келе

болатын модельдік процестер, мысалы, жылу теңдеуі; гиперболалық теңдеулер: толқындық процестерді сипаттайды, мысалы, толқындық теңдеу; эллиптикалық теңдеулер: стационарлық процестерді сипаттайды, мысалы, Лаплас немесе Пуассон теңдеуі. Бұл мақала температуралық өрістердің уақытша динамикасын модельдейтін параболалық жылу теңдеуін қарастырады.

Жылу өткізгіштік теңдеуі. Жылулық процестерді модельдеудің негізгі математикалық құралы жылу теңдеуі – температураның $T(x,y,z,t)$ кеңістікте және уақытта таралуын сипаттайтын ішінара дифференциалдық теңдеу болып табылады[5]. Жалпы, былай жазылады:

$$\rho c\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k\nabla T) + Q, \qquad (2)$$

мұндағы, (2-формула): ρ – материалдың тығыздығы, кг/м^3; c – меншікті жылу сыйымдылығы, Дж/(кг\cdotpK); T – температура, К; k – жылу өткізгіштік коэффициенті, Вт/(m\cdotpK); Q – жылу көздерінің қарқындылығы, Вт/м^3; t – уақыт, с; $\nabla \cdot (k\nabla T)$ – жылу ағынының дивергенциясы. Теңдеу өткізгіштік пен ішкі жылу көздерінің температураның өзгеруіне қалай әсер ететінін сипаттайды. Бұл жағдайда жылу алмасуды сипаттайтын шекаралық шарттар арқылы конвекцияның әсері ескеріледі [5].Мақаланың тақырыбына ең сәйкес келетін екі өлшемде бұл теңдеу былай жазылады:

$$\rho c\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial T}{\partial y}\right) + Q. \qquad (3)$$

Бұл теңдеу (3-формула) температураның жылу өткізгіштікке, жылу көздеріне және материалдың физикалық параметрлеріне байланысты қалай өзгеретінін көрсетеді. PDE дұрыс шешу үшін шекаралық шарттарды орнату маңызды:

1. Дирихле шарттары (бірінші түрі): шекарада функцияның тұрақты мәні көрсетіледі:

$$T\ (x,y,z,t)=T_0 \ \text{B}_T \text{ шекарасында.} \qquad (4)$$

2. Нейман шарттары (екінші түр): шекарадағы функцияның (жылу ағынының) қалыпты туындысының мәні көрсетіледі:

$$-k\frac{\partial T}{\partial n} = q_0$$

B_q шекарасында. (5)

Бұл шекаралық шарттар физикалық модельдің нақты жағдайларға сәйкестігін қамтамасыз ете отырып, PDE шешімі үшін контекстті белгілейді. PDE аналитикалық шешімі үшін айнымалыларды бөлу әдістері, Фурье және Лаплас түрлендірулері қолданылады, бірақ күрделі облыстар мен шекаралық шарттар үшін бұл әдістер көп еңбекті қажет етеді немесе мүмкін емес. Бұл жағдайда цифрлық әдістер қолданылады, соның ішінде:

- Ақырғы айырмашылық әдісі (FDM): айырмашылық схемаларын пайдаланып тордағы туынды құралдарды жуықтайды.
- Ақырлы элементтер әдісі (FEM): доменді шекті элементтерге бөледі, оның ішінде функция негізгі функцияларды қолдану арқылы жуықталады [6].
- Ақырғы көлем әдісі (FVM): сұйықтық динамикасы сияқты ағынды сақтау мәселелері үшін қолданылады.

Осы мақаланың мақсаттары үшін MATLAB PDE құралдар жинағында енгізілген FEM пайдаланылады. Бұл құрал күрделі геометриялар үшін PDE тиімді шешуге мүмкіндік береді және шекаралық жағдайлардың әртүрлі түрлерін ескереді. Термодинамикалық процестерді модельдейтін цифрлық егіздер материалдар ішіндегі және арасындағы жылу алмасуды сипаттау үшін PDE-ге сүйенеді. Жылу өткізгіштік теңдеулерін шешу мыналарға мүмкіндік береді:

- Оңтайлы өңдеу шарттарын жобалау үшін температураның уақыт бойынша өзгеретін үлгісі.
- Материалдың физикалық параметрлерінің (тығыздығы, жылу өткізгіштігі, жылу сыйымдылығы) жылу процестеріне әсерін талдау.

Бұл аспектілер өндіріс процестерінің сапасы мен энергия тиімділігін арттыру үшін тамақ өнеркәсібінде қолданылатын дәл және функционалды цифрлық егіздерді құрудың кілті болып табылады.

Модельді жүзеге асыру

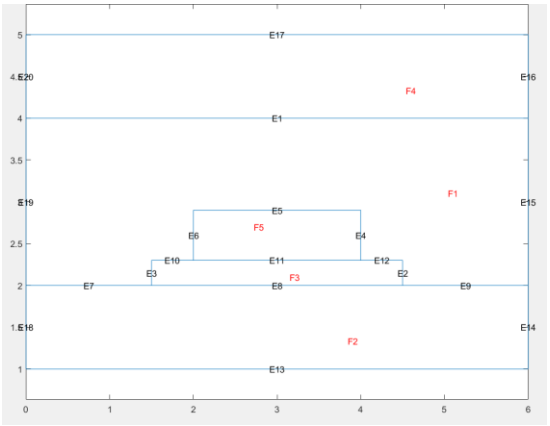
MATLAB PDE Toolbox ішінара дифференциалдық теңдеулермен (PDE) сипатталған есептерді цифрлық түрде шешуге арналған аса жоғарғы сатылы құрал болып табылады [7]. Ол жылу беруді, құрылымдық механиканы, электромагниттік өрістерді және басқа физикалық процестерді қоса алғанда, мәселелердің кең ауқымын қамтиды. Бұл жұмыста MATLAB PDE құралдар жинағы уақытша және кеңістіктік динамикаларды ескере отырып, 2D форматында жылу процестерін имитациялау үшін пайдаланылады.

Модельдеудің мақсаты жоғарыда аталған факторларды: материалдың физикалық параметрлерін, шекаралық жағдайларды және ішкі жылу көздерінің болуын ескере отырып, екі өлшемді аймақта уақыт бойынша температураның $T(x,y,t)$ өзгеруін талдау болып табылады. Есептің математикалық тұжырымы жылу өткізгіштік теңдеуіне негізделген (формула 2).

Бірінші қадам 1-суретте көрсетілген геометриялық модельді құру және «Boundary Mode» режимі арқылы Нейман және Дирихле шекаралық шарттарын белгілеу болып табылады [8]. Болашақта модельдің жеке аймақтары келесі рөлдерді орындайды:

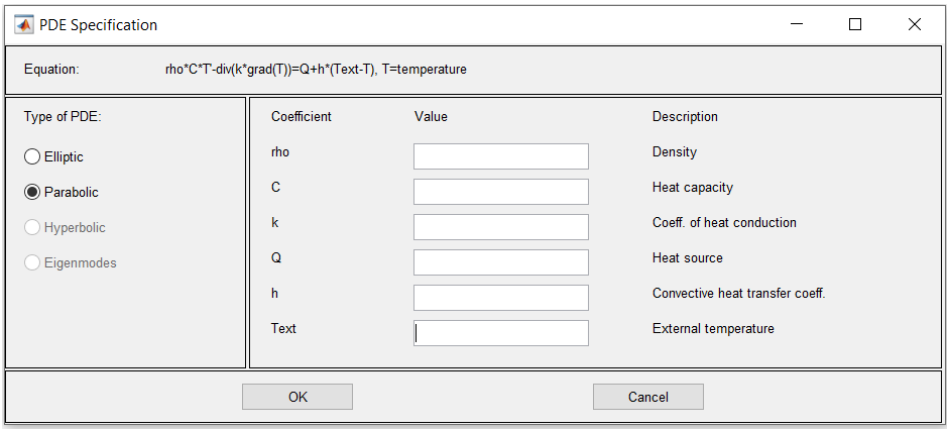
• F2 және F4 – жылу көздерін имитациялайтын аумақтар;
• F3 – дайындалатын өнімді салатын ыдыс (материал: металл);
• F5 – тағам өнімін білдіретін қамыр;
• F1 – пеш ішіндегі орта.

Бұл тәсіл термодинамикалық процестің физикалық жағдайларын дәл шығаруға мүмкіндік береді.



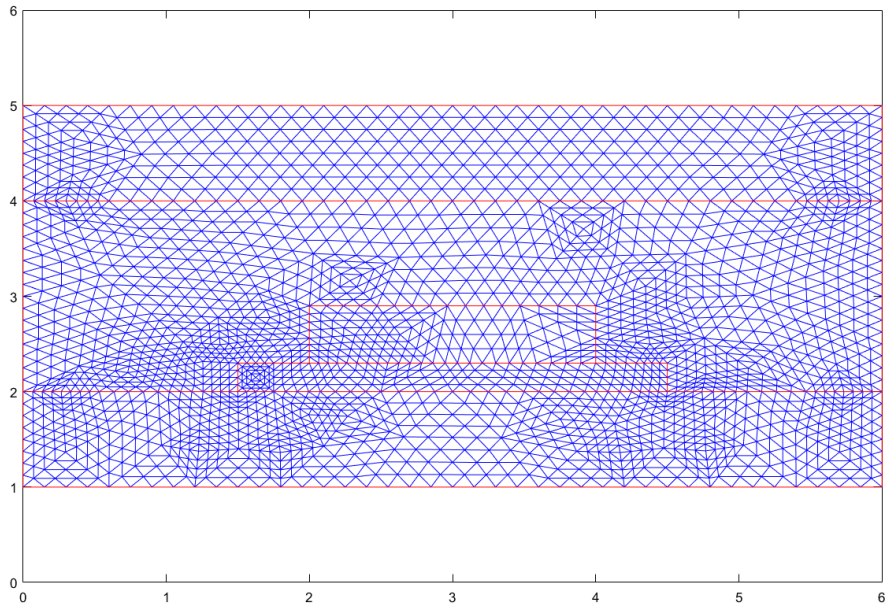
1 сурет – Геометриялық модель Boundary Mode

Келесі кезеңде «PDE Specification» бөлімі әрбір аймақ үшін толтырылады, онда мәселені шешуге қажетті негізгі параметрлер көрсетіледі (2-сурет). Термодинамикалық процестерді ең дәл сипаттайтын теңдеу түрі ретінде параболалық теңдеу таңдалады [9].



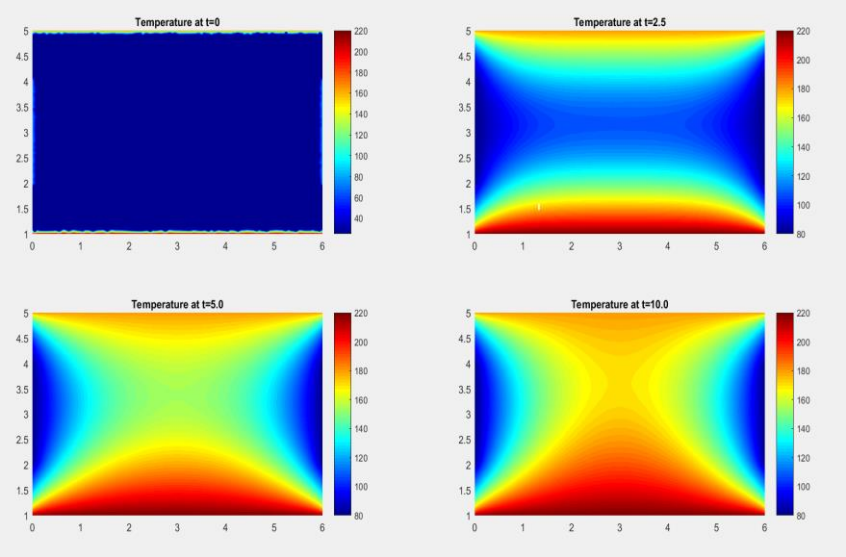
2 сурет – PDE Specification

Содан кейін триангуляция торы инициализацияланады. Егер кескін дәлдігін арттыру қажет болса, үшбұрышты элементтердің санын көбейтуге болады (3-суретті қараңыз).



3 сурет – Триангуляциялық торды инициализациялау

Триангуляциялық торды инициализациялаудан кейін үлгіні іске асыру процесі аяқталады және модельдеу нәтижелерін көрсету үшін параметрлерді конфигурациялау ғана қалады.



4 сурет – MATLAB PDE үлгісінде жасалған пеш ішіндегі температуралық өрістердің таралуы. Суретте жылу өткізгіштік пен диффузияның стационарлық емес процестерін сипаттау үшін қолданылатын параболалық теңдеулер негізінде есептелген температура өрістерінің уақыт бойынша динамикалық өзгеруі көрсетілген.

MATLAB PDE Toolbox жүйесінде модельді енгізудің соңғы кезеңі берілген шекаралық шарттар мен жылу көздерін ескере отырып, жылу өткізгіштік теңдеулерінің цифрлық шешімі болды. Триангуляциялық торды инициализациялаудан және физикалық параметрлерді орнатудан кейін (тығыздық, жылу өткізгіштік және материалдардың жылу сыйымдылығы) температуралық өрістердің динамикасын талдау үшін уақыт аралықтарында есептеулер жүргізілді. Алынған нәтижелер пеш аймағындағы жылуды бөлу процесін көрсететін температуралық карталар түрінде бейнеленеді (4-сурет). Бұл тәсіл модельдің тиімділігін

бағалауға ғана емес, сонымен қатар оны одан әрі кеңейтуге және күрделірек өндірістік жүйелерде қолданудың негізін салуға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері

1. Температуралық өрістердің динамикасын талдау

Модельдеу нәтижелері температураның жылу көздерінен орталық аймақтарға біртіндеп таралуын көрсетеді. Жылуды конвекция принципі бойынша тасымалдайтын жоғарғы элемент және кондукция принципі бойынша жұмыс істейтін төменгі элемент өнімнің қыздыру сипатын анықтайды. Бастапқы кезеңдерде өнімнің төменгі бөлігі жылдам қызуы орын алады, бұл оның қатаюына әкеледі және ылғалдың төмен қарай жоғалуын болдырмайды. Бұл жылуды бөлу өнімнің ішінде ылғалды ұстауға мүмкіндік береді және дайын өнімнің кеуекті және сынғыш құрылымының пайда болуына ықпал етеді. t = 2,5, t = 5,0 және t = 10,0 уақыт қадамдары пештің жұмыс камерасының ішінде біркелкі температура профилінің қалыптасуын анық көрсетеді.

2. Модельдеу нәтижелеріне параметрлердің әсері

• Жылу көздері: жоғарғы элемент (конвекция) және төменгі элемент (кондукция) температураның біркелкі таралуына және өнімдердің ылғалдылығын сақтауға жағдай жасайды [10]. Өнімнің төменгі бөлігінің жылдам қатаюы ылғалдың төменге ағып кетуіне жол бермейді, ал үстіңгі бөлікті жұмсақ жылыту кеуектілік пен сынғыштық үшін оңтайлы жағдай жасауға көмектеседі.

• Материалдардың физикалық параметрлері: Жылу өткізгіштік коэффициенттері, материалдың тығыздығы және меншікті жылу сыйымдылығы жылудың таралу сипатына және оның тұрақты температуралық үлестірімге жету уақытына тікелей әсер етеді.

• Геометрия және кеңістіктік тор: Ақырлы элементтер әдісін (FEM) пайдалану модельдеудің дәлдігін қамтамасыз етті және жылу берудегі уақытша және кеңістіктік өзгерістерді есепке алды.

3. Алынған мәліметтердің цифрлық егіздер үшін маңыздылығы

Алынған температура үлестірімі тамақ өнеркәсібінде қолданылатын пештердің цифрлық егіздерін жасау үшін негіз бола алады. Модель келесідей мүмкіндіктер береді:

• Өнімнің сапасы мен құрылымын жақсарту үшін термиялық өңдеу режимдерін оңтайландыру.

• Температураны дәл бақылау арқылы энергия тиімділігін арттыру.

• Материалдың физикалық қасиеттерінің жылу алмасуға әсерін ескеру.

• ParaView және SIEMENS орталарында әрі қарай зерттеу және модельдеу, мұнда функционалдылықты кеңейтуге және процестерді егжей-тегжейлі 3D модельдеуге болады.

4. Модельді қолдану мүмкіндіктері

Әзірленген модель нақты өндірістік процестерге бейімделуі мүмкін, мысалы:

• Нан өнімдерін пісіру.

• Азық-түлік өнімдерін кептіру және термиялық өңдеу.

• Температураны бақылау және технологиялық жүйелерді оңтайландыру.

5. Модельдің шектеулері және одан әрі зерттеу бағыттары

• Шектеулер: Ағымдағы модельдеу радиациялық және сыртқы ауа конвекция процестерін есепке алмайды, бұл нақты жағдайлар үшін болжамдардың дәлдігіне әсер етуі мүмкін.

• Жақсартулар: фазалық ауысуларды қосу, сыртқы ауа ағындарын модельдеу және күрделірек 3D үлгілерін пайдалану нәтижелердің дәлдігін жақсартады.

Болашаққа бағдар: одан әрі зерттеулер ParaView және SIEMENS [11] орталарында дәлірек цифрлық егіздерді әзірлеуге бағытталуы мүмкін, бұл егжей-тегжейлі процестерге және модельді әртүрлі өндірістік жағдайларға бейімдеуге мүмкіндік береді.

Қорытынды

Зерттеу жұмысының соңында ойымызды қорытындыласақ, модельдеу нәтижелері тамақ өнеркәсібіндегі термиялық өңдеу процестерін оңтайландыруға мүмкіндік беретін жылу беру мен температура өрісінің динамикасын сипаттаудың жоғары дәлдігін көрсетеді. Алынған деректер барлық физикалық және технологиялық факторларды ескере отырып, нақты өндірістік жағдайларды имитациялауға қабілетті анағұрлым жетілдірілген цифрлық егіздердің дамуының негізін қалайды. Модельді ParaView және SIEMENS бағдарламалық орталарына одан әрі интеграциялау өндірістік процестерді егжей-тегжейлі талдау және оңтайландыру үшін жаңа мүмкіндіктер береді. Бұл энергия тиімділігін арттыруға, соңғы өнімнің сапасын жақсартуға және термиялық өңдеудің барлық кезеңдерінде жоғалтуларды азайтуға мүмкіндік

береді. Жалпы алғанда тамақ өнеркәсібінің цифрлық егіздерін жасау – бұл болашақта процесстерді цифрлық моделдеуге, автоматтандыруға, үлкен шығын шығармай жаңа нұсқаларды жобалауға, барлық болып жатқан процесстерді бақылауға және басқаруға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер

1. Digital twins of food process operations: the next step for food process models? / P. Verboven et al // Current Opinion in Food Science. – 2020. – Vol. 35. – P. 79-87.
2. Huang Y. Implementation of Digital Twins in the Food Supply Chain / Y. Huang, Dr A. Ghadge, N. M. Yates // A Review and Conceptual Framework. International Journal of Production Research. – 2023. – 28 p. https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2305804.
3. Тукембаева Г.Ч. Моделирование уравнений термодинамики динамическими системами / Г.Ч. Тукембаева, Б.К. Темиров // Проблемы автоматики и управления. – 2023. – № 2. – С. 109-115.
4. Сидельникова Н.А. Дифференциальные уравнения в частных производных первого порядка: учебное пособие / Н.А. Сидельникова; Башкирский государственный университет. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2020.
5. Неробеев А.Д. Методы решения уравнений теплопроводности / А.Д. Неробеев, О.Д. Дячкин // Технологии физики, автоматизации и информатики. Актуальные исследования в современной науке. – 2020. – С. 50-51.
6. Мухидова Г.Э. Применение метода конечных элементов к одной задаче теплопередачи / Г.Э. Мухидова // International Conference on Learning and Teaching. – 2022. – Т. 1, № 7. – С. 388-390.
7. Das S. An Introduction to Finite Element Analysis Using Matlab Tools. – Springer, 2023.
8. Arendt W. Dirichlet and Neumann boundary conditions: What is in between? / W. Arendt, M. Warma // Nonlinear Evolution Equations and Related Topics: Dedicated to Philippe Bénilan. – 2004. – P. 119-135.
9. Dehghan M. Parameter determination in a partial differential equation from the overspecified data / M. Dehghan // Mathematical and computer modelling. – 2005. – Т. 41, № 2-3. – P. 196-213.
10. Cess R.D. The interaction of thermal radiation with conduction and convection heat transfer / R.D. Cess // Advances in heat transfer. – Elsevier, 1964. – Т. 1. – P. 1-50.
11. Digital twin in a manufacturing integrated system: Siemens TIA and PLM case study / D.A. Guerra-Zubiaga et al // ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. – American Society of Mechanical Engineers, 2019. – Т. 59384. – P. V02BT02A008.

References

1. Digital twins of food process operations: the next step for food process models? / P. Verboven et al // Current Opinion in Food Science. – 2020. – Vol. 35. – P. 79-87. (In English).
2. Huang Y. Implementation of Digital Twins in the Food Supply Chain / Y. Huang, Dr A. Ghadge, N. M Yates // A Review and Conceptual Framework. International Journal of Production Research. – 2023. – 28 p. https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2305804. (In English).
3. Tukembaeva G.CH. Mdelirovanie uravnenii termodinamiki dinamicheskimi sistemami / G.CH. Tukembaeva, B.K. Temirov // Problemy avtomatiki i upravleniya. – 2023. – № 2. – S. 109-115. (In Russian).
4. Sidel'nikova N.A. Differentsial'nye uravneniya v chastnykh proizvodnykh pervogo poryadka: uchebnoe posobie / N.A. Sidel'nikova; Bashkirskii gosudarstvennyi universitet. – Ufa: RITS BaSHGU, 2020. (In Russian).
5. Nerobeev A.D. Metody Resheniya Uravnenii Teploprovodnosti / A.D. Nerobeev, O.D. Dyachkin // Tekhnologii fiziki, avtomatizatsii i informatiki. Aktual'nye issledovaniya v sovremennoi nauke. – 2020. – S. 50-51. (In Russian).
6. Mukhidova G.EH. Primenenie metoda konechnykh ehlementov k odnoi zadache teploperedachi / G.EH. Mukhidova // International Sonference on Learning and Teaching. – 2022. – T. 1, № 7. – S. 388-390. (In Russian).
7. Das S. An Introduction to Finite Element Analysis Using Matlab Tools. – Springer, 2023. (In English).
8. Arendt W. Dirichlet and Neumann boundary conditions: What is in between? / W. Arendt, M. Warma // Nonlinear Evolution Equations and Related Topics: Dedicated to Philippe Bénilan. – 2004. – R. 119-135. (In English).

9. Dehghan M. Parameter determination in a partial differential equation from the overspecified data / M. Dehghan // Mathematical and computer modelling. – 2005. – T. 41, № 2-3. – R. 196-213. (In English).
10. Cess R.D. The interaction of thermal radiation with conduction and convection heat transfer / R.D. Cess // Advances in heat transfer. – Elsevier, 1964. – T. 1. – R. 1-50. (In English).
11. Digital twin in a manufacturing integrated system: Siemens TIA and PLM case study / D.A. Guerra-Zubiaga et al // ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition. – American Society of Mechanical Engineers, 2019. – T. 59384. – R. V02BT02A008. (In English).

Берілген мақала «BR24992975 Жасанды интеллект және IIoT технологияларын қолдана отырып, тамақ өңдеу кәсіпорнының цифрлық егізін жасау» жобасының қолдауымен жазылған.

Қ. Махамбетов*, Б.А. Бельгибаев[1], N. Kunicina[2]
[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Аль-Фараби, 71
[2]Riga Technical University
LV-1048, Latvia, Riga, Ķīpsalas Street, 6A
*e-mail: 1998kaldybek@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MATLAB PDE TOOLBOX ДЛЯ СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В статье рассматривается подход к моделированию термодинамических процессов в производственных системах пищевой промышленности с использованием MATLAB PDE Toolbox. Основной целью исследования является создание цифровых двойников, которые позволяют имитировать тепловые процессы и оптимизировать производственные операции. Работа фокусируется на применении уравнений теплопроводности с учетом граничных условий Неймана и Дирихле, что обеспечивает точность и достоверность моделирования. Представлены результаты вычислительных экспериментов, демонстрирующие динамические изменения температурных полей в 2D-пространстве. Основное внимание уделено влиянию физических параметров, таких как теплопроводность, плотность и удельная теплоемкость, на распределение температуры. Полученные данные могут быть использованы для повышения энергоэффективности и качества производственных процессов в пищевой отрасли.

В результате исследования была разработана модель, описывающая температурные поля в среде MATLAB PDE Toolbox. Разработанная модель служит основой для дальнейших исследований в области цифровых двойников и интеграции с промышленными инструментами моделирования, такими как SIEMENS NX, а также платформами PML. В ходе данного исследования были протестированы различные коэффициенты теплопередачи и граничные условия, что позволило определить оптимальные параметры модели. Итоговый результат, представленный в конце статьи, демонстрирует плавное и корректное распределение термодинамических процессов, подтверждая эффективность предложенного подхода. В перспективе данный подход может быть использован для создания более сложных виртуальных производственных систем, позволяющих не только анализировать тепловые процессы, но и разрабатывать интеллектуальные системы управления термообработкой, улучшая адаптивность и эффективность технологических процессов.

Ключевые слова: *цифровые двойники, теплопередача, MATLAB PDE Toolbox, МКЭ, уравнение теплопроводности, граничные условия, численное моделирование, анализ температурных полей, энергоэффективность, оптимизация тепловых процессов.*

K. Makhambetov*, B.A. Belgibaev[1], N. Kunicina[2]
[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi St., 71
[2]Riga Technical University
LV-1048, Latvia, Riga, Ķīpsalas Street, 6A
*e-mail: 1998kaldybek@gmail.com

MODELING THERMODYNAMIC PROCESSES USING MATLAB PDE TOOLBOX FOR CREATING DIGITAL TWINS IN THE FOOD INDUSTRY

The article discusses an approach to modeling thermodynamic processes in food industry production systems using MATLAB PDE Toolbox. The main goal of the research is to create digital twins that allow simulating thermal processes and optimizing production operations. The work focuses on the application of

heat equations taking into account the Neumann and Dirichlet boundary conditions, which ensures the accuracy and reliability of modeling. The results of computational experiments demonstrating dynamic changes in temperature fields in 2D space are presented. The main attention is paid to the influence of physical parameters such as thermal conductivity, density and specific heat capacity on temperature distribution. The obtained data can be used to improve energy efficiency and quality of production processes in the food industry.

As a result of the research, a model describing temperature fields was developed in the MATLAB PDE Toolbox. The developed model serves as a basis for further research in the field of digital twins and integration with industrial modeling tools such as SIEMENS NX, as well as PML platforms. During this study, various heat transfer coefficients and boundary conditions were tested, which made it possible to determine the optimal model parameters. The final result, presented at the end of the article, demonstrates a smooth and correct distribution of thermodynamic processes, confirming the effectiveness of the proposed approach. In the future, this approach can be used to create more complex virtual production systems that allow not only to analyze thermal processes, but also to develop intelligent heat treatment control systems, improving the adaptability and efficiency of technological processes.

Key words: *digital twins, heat transfer, MATLAB PDE Toolbox, FEM, heat equation, boundary conditions, numerical modeling, temperature field analysis, energy efficiency, thermal process optimization.*

Авторлар туралы мәліметтер

Қалдыбек Махамбетов* – PhD докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; e-mail: 1998kaldybek@gmail.com.

Бауыржан Бельгибаев – доцент, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Казахстан; e-mail: bbelgybaev@list.ru.

Nadezda Kunicina – Professor, Riga Technical University, Рига, Латвия; e-mail: Nadezda.Kunicina@rtu.lv.

Сведения об авторах

Калдыбек Махамбетов* – PhD докторант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; e-mail: 1998kaldybek@gmail.com.

Бауыржан Бельгибаев – доцент, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; e-mail: bbelgybaev@list.ru.

Nadezda Kunicina – Professor, Riga Technical University, Рига, Латвия; e-mail: Nadezda.Kunicina@rtu.lv.

Information about the authors

Kaldybek Makhambetov* – PhD student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: 1998kaldybek@gmail.com.

Baurzhan Belgibaev – Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: bbelgybaev@list.ru.

Nadezda Kunicina – Professor, Riga Technical University, Riga, Latvia; e-mail: Nadezda.Kunicina@rtu.lv.

Редакцияға енуі 04.04.2025
Өңдеуден кейін түсуі 22.06.2025
Жариялауға қабылданды 23.06.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-6

МРНТИ: 81.93.29

CC BY 4.0
Check for updates

А.М. Нурушева*, Д.Ж. Сатыбалдина, А.К. Шайханова, А.Р. Кусаинов
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
010008, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2
*e-mail: asselnurusheva7@gmail.com

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА РИСКОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ

Аннотация: *В этом исследовании описана комплексная методология анализа рисков кибербезопасности в критически важных информационных системах транспортной компании с упором на системы диспетчерского управления и сбора данных (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA-системы), платформы управления транспортом и решения по продаже билетов. Предложенный подход оценки рисков соответствует международным стандартам и*

рекомендациям Национального института стандартов и технологий. В структуре используется многоэтапный процесс, включая идентификацию объектов, оценку критичности систем на базе многокритериального метода, определение наличия уязвимостей в системе, влияния угроз, определение вероятности реализации угрозы, оценку риска, определение контрмер и оценка остаточного риска. Исследование случая с участием транспортного оператора демонстрирует эффективность метода, показывая, что SCADA-системы, несмотря на умеренную вероятность атаки, демонстрируют высокие уровни риска из-за серьезных эксплуатационных воздействий, в то время как системы продажи билетов представляют меньшие риски, но все же требуют принятия мер, в частности мониторинга, защиты и контроля. Результаты подчеркивают способность модели более точно расставлять приоритеты в усилиях по смягчению последствий, чем традиционные методы, фиксируя тонкие взаимодействия между вероятностью угрозы и последствиями. Этот подход не только решает текущие проблемы инфраструктуры, но и адаптируется к возникающим угрозам, что делает его масштабируемым решением для защиты критически важных систем.

Ключевые слова: *риск, информационная безопасность, уязвимость, угроза, кибербезопасность, транспортная компания.*

Введение

Современная транспортная инфраструктура все больше зависит от цифровых технологий, включая системы диспетчерского управления и сбора данных (Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA-системы), платформы управления транспортом и автоматизированные решения по продаже билетов. Эти компоненты критически важны для обеспечения бесперебойной работы транспортных компаний, однако их интеграция в информационно-коммуникационную инфраструктуру сопровождается значительными рисками кибербезопасности. Угрозы, такие как целевые атаки на SCADA-системы [1], компрометация данных пассажиров [2] и нарушения работы логистических платформ [3], могут привести не только к финансовым потерям, но и к серьезным операционным сбоям, угрожающим общественной безопасности.

Стандартные подходы анализа и оценки рисков обычно основаны на точных пороговых показателях и линейных моделях, это приводит к недостаточному уровню эффективности при условиях высокой неопределенности и динамично меняющихся векторов атак [4]. В частности, они не учитывают качественные экспертные оценки, нелинейные взаимосвязи между факторами риска и изменяющиеся условия эксплуатации критически важных систем [5]. В этой связи актуальной задачей становится разработка новых подходов, способных более точно оценивать и прогнозировать киберриски с учетом нечеткости исходных данных [6].

В данной статье предлагается метод анализа рисков кибербезопасности, основанный на нечеткой логике, который позволяет формализовать экспертные суждения, моделировать сложные зависимости между параметрами угроз и вырабатывать обоснованные решения по управлению рисками. В отличие от классических методов, предлагаемый подход делает акцент на критичности систем, применяет систему нечетких правил для вывода уровней риска [7] и обеспечивает интерпретируемость результатов [8].

Разработанная методология соответствует международным стандартам, таким как ISO/IEC 27005 и рекомендациям лучших практик, и была апробирована на примере транспортной компании. Результаты демонстрируют, что метод позволяет более точно определять приоритеты защиты, выявляя, например, высокий уровень риска SCADA-систем даже при умеренной вероятности атаки.

Исследование вносит вклад в развитие методов кибербезопасности критической инфраструктуры, предлагая адаптивный инструмент для принятия решений. Перспективы дальнейшей работы включают интеграцию машинного обучения для динамического обновления моделей угроз и расширение области применения метода на другие секторы транспортной отрасли и иных критических сегментов.

Методы исследования

В рамках разработки метода анализа рисков кибербезопасности критически важных объектов информационно-коммуникационной инфраструктуры (КВОИКИ) транспортной компании была применена комплексная методология, объединяющая методы многокритериального принятия решений (Multiple-Criteria Decision Analysis, MCDA), нечеткое моделирование, стандарты и лучшие практики информационной безопасности.

На первом этапе проведена инвентаризация ключевых информационных активов компании, включая SCADA-системы управления движением транспорта, системы управления перевозками, платформы продажи билетов, корпоративные web-ресурсы, облачные сервисы, системы мониторинга и защиты информации.

Для ранжирования объектов по степени критичности использован метод анализа иерархий (analytic hierarchy process, AHP) [9], позволяющий учесть экспертные оценки значимости критериев ущерба:

1) Опасность для жизни/здоровья (вес 41.9%),
2) Влияние на экономику страны (вес 25.2%),
3) Зависимость других КВОИКИ (вес 14.4%),
4) Экологический ущерб (вес 9.9%),
5) Социальная значимость (вес 5.1%),
6) Международное влияние (вес 3.5%).

Таблица 1 – Оценка объектов по критериям

Критерий→ Объект ↓	Опасность для жизни/ здоровья	Влияние на экономику страны	Зависимость других КВОИКИ	Экологический ущерб	Социальная значимость	Международное влияние
SCADA-системы	9	7	6	9	8	7
Система «Перевозки»	7	9	5	9	8	9
Система продажи билетов	5	6	2	4	8	7

Далее проведено попарное сравнение критериев, которое выполнялось по шкале Саати (1-9), а согласованность оценок проверялась через индекс согласованности (Consistency Index, CI) и отношение согласованности (Consistency Ratio, CR) (CR = 0.064 < 0.1).

На основе взвешенных сумм определены приоритеты исследуемых объектов по следующей формуле:

Взвешенная сумма уровня критичности = ∑ (Оценка × Вес критерия)

По результатам расчетов был определен ранг систем.

Таблица 2 – Определение оценки объектов по критериям степени критичности при использовании метода анализа иерархий

Критерий	Опасность для жизни/ здоровья	Влияние на экономику страны	Экологический ущерб	Зависимость других КВОИКИ	Социальная значимость	Международное влияние
Опасность для жизни/ здоровья	1	3	5	4	6	7
Влияние на экономику страны	1/3	1	4	3	5	6
Экологический ущерб	1/5	1/4	1	1/2	3	4
Зависимость других КВОИКИ	1/4	1/3	2	1	4	5
Социальная значимость	1/6	1/5	1/3	1/4	1	2
Международное влияние	1/7	1/6	1/4	1/5	1/2	1

Таблица 3 – Определение взвешенной суммы уровня критичности и ранга систем

Объект	Взвешенная сумма уровня критичности	Ранг
SCADA-системы	8.02	1
Система «Перевозки»	7.82	2
Система продажи билетов	5.10	3

Согласно ISO 27005 оценка рисков осуществляется по формуле:

Риск = Вероятность × Влияние

Для учета неопределенности в оценках вероятности и воздействия угроз применена нечеткая логика [10]. Лингвистические переменные (Низкий, Средний, Высокий) формализованы через трапециевидные функции принадлежности:

- Влияние: значение критичности системы линейно нормализовано к шкале 1–3 (например, SCADA-системы – 2.6).
- Вероятность угроз: экспертная оценка по шкале 1–3, где низкая – 1, высокая – 3.

Для исследования была составлена база данных, состоящая из более 40 угроз, включая целевые атаки на системы управления, утечки данных, сбои инфраструктуры, природные катаклизмы и др. Также сформирована база данных из более чем 150 уязвимостей, классифицированная по категориям: Информация, Системы, Персонал, Помещение, Сервис, Оборудование.

Далее в исследовании использовались правила нечеткого вывода (например, «ЕСЛИ Влияние = Высокое И Вероятность = Средняя, ТО Риск = Средний»). Дефаззификация проведена методом центра тяжести (центроид), что позволило получить количественные оценки рисков. Например, для реализации угрозы «DoS-атаки» при уязвимости «Опасная архитектура сети»:

- Риск для SCADA-системы составит 2.6, так как вероятность реализации данной угрозы для изолированной системы низкая и будет равна 1. Соответственно получен низкий риск, несмотря на высокий уровень влияния;
- Риск для Системы «Перевозки» - 5.2 (средний риск);
- Риск для Система продажи билетов - 4.0 (средний риск).

Далее эксперт принимает решение об обработке рисков с учетом условий таблице 4.

Таблица 4 – Варианты обработки риска

Уровень риска	Диапазон	Описание риска, варианты обработки риска
Низкий	1.0 – 3.9	Допустимый, может быть
Средний	4.0 – 6.9	Требует мер по снижению, передаче или отказу от риска
Высокий	7.0 – 9.0	Требует приоритетных мер по снижению, передаче или отказу от риска

Была сформирована база данных с возможными контрмерами. После выбора мер защиты (например, изменение архитектуры сети, внедрение средств защиты от атак, внедрение системы мониторинга, анализа и управления событиями безопасности, резервирование каналов связи и серверов) проведена экспертная оценка их эффективность по шкале от 0 до 1. Остаточный риск рассчитан по формуле:

$$\text{Остаточный риск} = \text{Первоначальный риск} \times (1 - \text{Эффективность мер})$$

Эксперт принимает дальнейшее решение по обработке остаточного риска в соответствии с таблицей 4.

Результаты исследований

В ходе исследования разработан и апробирован метод анализа рисков кибербезопасности критически важных объектов информационно-коммуникационной инфраструктуры транспортной компании.

Наибольшую критичность имеют SCADA-системы (8.02) из-за потенциального воздействия на жизнь/здоровье и зависимость других систем. Система «Перевозки» демонстрирует высокий уровень критичности из-за значительного влияния на экономику страны. Система продажи билетов обладает средним уровнем критичности (5.10), но требует контроля из-за социальной значимости системы для населения.

В результате исследования все остаточные риски переведены в категорию «Низкий», что подтверждает эффективность предложенных контролей и отсутствие необходимости дальнейшего снижения/ передачи риска либо отказа от риска.

К преимуществам предложенного метода можно отнести гибкость в работе с экспертной неопределенностью и динамическими угрозами.

Таким образом, разработанный метод позволяет точно ранжировать критические системы на основе многокритериального анализа, учитывать неопределенность через нечеткие модели, оптимизировать ресурсы киберзащиты за счет приоритизации рисков.

Наличие сформированных баз данных активов, уязвимостей, угроз и контролей позволяет быстро научиться использовать методику и легко проводить оценку рисков информационной безопасности для транспортных компаний.

Применение метода анализа иерархий позволило определить весовые коэффициенты критериев ущерба и рассчитать интегральные оценки критичности для ключевых систем (табл. 1-3). Результаты подтвердили эффективность комбинации AHP и нечеткой логики для анализа рисков в транспортной инфраструктуре. Метод обеспечивает прозрачность принятия решений и соответствует международным стандартам и лучшим практикам. Дальнейшие исследования будут направлены на адаптацию модели для других секторов критической инфраструктуры. Также в последующем планируется внедрение машинного обучения для автоматизации оценки и выбора контролей, интеграция с моделями машинного обучения для прогнозирования угроз.

Обсуждение научных результатов

Полученные результаты демонстрируют несколько ключевых положительных научных и практических аспектов. Разработанный метод сочетает преимущества двух подходов: количественной оценки через AHP, качественного анализа через нечеткую логику.

В отличие от традиционных матричных методов, предлагаемый подход учитывает нелинейные зависимости между факторами риска, позволяет работать с экспертной неопределенностью, обеспечивает более точную градацию уровней риска. Результаты показывают высокую адаптивность метода к специфике транспортной инфраструктуры и возможность тонкой настройки параметров под конкретные объекты. Немаловажным является простота подхода управления рисками и наглядность для лиц, принимающих решения.

Результаты исследования вносят вклад в развитие методов оценки киберрисков и теорию принятия решений в условиях неопределенности.

Проведенное исследование подтвердило эффективность предложенного комбинированного подхода. Полученные результаты имеют как теоретическое значение для развития методов анализа рисков, так и практическую ценность для обеспечения кибербезопасности транспортной инфраструктуры.

Заключение

Проведенное исследование позволило разработать и апробировать комплексный метод анализа рисков кибербезопасности критически важных объектов транспортной инфраструктуры, сочетающий преимущества многокритериального анализа (AHP) и нечеткого моделирования. Разработана адаптивная модель оценки рисков, учитывающая как количественные показатели, так и экспертные мнения. Предложен алгоритм перехода от качественных оценок к количественным показателям риска. Описанный подход позволил установить приоритеты защиты для ключевых систем транспортной компании (SCADA-системы, системы перевозок, системы продажи билетов). Метод может быть адаптирован для других секторов критической инфраструктуры и динамических систем с быстро меняющимися угрозами.

Полученные результаты имеют значительный потенциал для совершенствования систем управления киберрисками в транспортной отрасли. Будущие направления исследований включают интеграцию машинного обучения для обновлений угроз в реальном времени и проверку метода в различных транспортных секторах. Будет проведен анализ возможности автоматизации процесса оценки через интеграцию с системами мониторинга, анализа и управления событиями безопасности.

Список литературы

1. Alanazi M. SCADA vulnerabilities and attacks: A review of the state-of-the-art and open issues / M. Alanazi, A. Mahmood, M.J.M. Chowdhury // Computers & Security. – 2023. – Vol. 125.
2. Information Security and Privacy in Railway Transportation: A Systematic Review / P. López-Aguilar et al // Sensors. – 2022. – № 22. – P. 7698. https://doi.org/10.3390/s22207698.
3. Badawi H. Cyber Security Challenges in the Transportation Industry: A Comprehensive Analysis and Recommendations / H. Badawi // Journal of Management and Training for Industries. – 2024. – № 11(2). – P. 16-41.
4. Kalinin M. Cybersecurity Risk Assessment in Smart City Infrastructures / M. Kalinin, V. Krundyshev, P. Zegzhda // Machines. – 2021. – № 9. – P. 78. https://doi.org/10.3390/machines9040078.
5. Cybersecurity Risk Assessments within Critical Infrastructure Social Networks / A. Aktayeva et al // Data. – 2023. – № 8. – P. 156. https://doi.org/10.3390/data8100156.

6. Fuzzy Logic and Its Application in the Assessment of Information Security Risk of Industrial Internet of Things / S. Kerimkhulle et al // Symmetry. – 2023. – № 15. – P. 1958. https://doi.org/10.3390/sym15101958.
7. Cheimonidis P. A Dynamic Risk Assessment and Mitigation Model / P. Cheimonidis, K. Rantos // Appl. Sci. – 2025. – № 15. – P. 2171. https://doi.org/10.3390/app15042171.
8. Merola F. A Risk Assessment Framework Based on Fuzzy Logic for Automotive Systems / F. Merola, C. Bernardeschi, G. Lami // Safety. – 2024. – № 10(2). – P. 41. https://doi.org/10.3390/safety10020041.
9. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process / T.L. Saaty // The Journal of the Operational Research Society. – 1980. – Vol. 41 Issue 11. – P. 1073-1076.
10. Zadeh L.A. Fuzzy sets / L.A. Zadeh // Information and Control. – 1965. – № 8(3). – P. 338-353.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках проекта гранатового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан AP19175746 «Разработка программного инструментария для оценки рисков кибербезопасности систем критической инфраструктуры».

А.М. Нурушева*, Д.Ж. Сатыбалдина, А.Қ. Шайханова, А.Р. Құсайынов
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
010008, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Сәтбаев көшесі, 2
*e-mail: asselnurusheva7@gmail.com

КӨЛІК КОМПАНИЯСЫНЫҢ МАҢЫЗДЫ НЫЙМЫСТАРЫНЫҢ МЫСАЛЫН ПАЙДАЛАНУ МЕНЕН КИБЕРҚАУІПСІЗДІК ТӘУЕКЕЛДЕРІН ТАЛДАУ ӘДІСІН ӘЗІРЛЕУ

Осы зерттеу қадағалауды бақылау және деректерді жинау (SCADA) жүйелеріне, көлікті басқару платформаларына және билет сату шешімдеріне баса назар аудара отырып, көлік компаниясының маңызды ақпараттық жүйелеріндегі киберқауіпсіздік тәуекелдерін талдаудың кешенді әдістемесін сипаттайды. Ұсынылған тәуекелді бағалау тәсілі халықаралық стандарттарға және Ұлттық стандарттар мен технологиялар институтының ұсыныстарына сәйкес келеді. Құрылым активтерді сәйкестендіруді, жүйенің критериалдылығын бағалаудың көп критерийін, жүйенің осалдығын бағалауды, қауіп әсерін бағалауды, қауіп ықтималдығын бағалауды, тәуекелді бағалауды, қарсы шараларды анықтауды және қалдық тәуекелді бағалауды қамтитын көп сатылы процесті пайдаланады. Тасымалдау операторының қатысуымен жасалған жағдайлық зерттеу SCADA жүйелерінің орташа шабуыл ықтималдығына қарамастан, ауыр операциялық әсерлерге байланысты жоғары тәуекел деңгейлерін көрсететінін, ал билет сату жүйелері тәуекелдерді төмендететінін, бірақ әлі де бақылау, қорғау және бақылау сияқты шараларды қажет ететінін көрсету арқылы әдістің тиімділігін көрсетеді. Нәтижелер модельдің қауіп ықтималдығы мен әсер ету арасындағы нәзік өзара әрекеттесулерді түсіру арқылы дәстүрлі әдістерге қарағанда жеңілдету әрекеттеріне басымдық беру мүмкіндігін көрсетеді. Бұл тәсіл ағымдағы инфрақұрылымдық мәселелерді қарастырып қана қоймайды, сонымен қатар пайда болатын қауіптерге бейімделіп, оны маңызды жүйелерді қорғау үшін ауқымды шешімге айналдырады.

***Түйін сөздер:** тәуекел, ақпараттық қауіпсіздік, осалдық, қауіп, киберқауіпсіздік, көлік компаниясы.*

A. Nurusheva*, D. Satybaldina, A. Shaykhanova, A. Kusainov
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
010008, Republic of Kazakhstan, Astana, Satpayev Street, 2
*e-mail: asselnurusheva7@gmail.com

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ANALYZING CYBERSECURITY RISKS USING THE EXAMPLE OF CRITICAL FACILITIES OF A TRANSPORT COMPANY

This study describes a comprehensive methodology for analyzing cybersecurity risks in critical information systems of a transport company, with an emphasis on Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) systems, transport management platforms, and ticketing solutions. The proposed risk assessment approach complies with international standards and recommendations of the National Institute of Standards and Technology. The framework uses a multi-step process including asset identification, multi-criteria system criticality assessment, determination of system vulnerabilities, threat impact, threat likelihood assessment, risk assessment, countermeasure identification, and residual risk assessment. A case study involving a

transportation operator demonstrates the effectiveness of the method by showing that SCADA systems, despite having a moderate attack probability, exhibit high risk levels due to severe operational impacts, while ticketing systems present lower risks but still require measures, such as monitoring, protection, and control. The results highlight the model's ability to more accurately prioritize mitigation efforts than traditional methods by capturing subtle interactions between threat likelihood and impact. This approach not only addresses current infrastructure challenges but also adapts to emerging threats, making it a scalable solution for protecting critical systems.

Key words: *risk, information security, vulnerability, threat, cybersecurity, transportation company.*

Сведения об авторах

Асель Муратовна Нурушева* – PhD, и.о.доцента кафедры информационной безопасности; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева; г. Астана, Казахстан; e-mail: asselnurusheva7@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5407-7191.

Дина Жагыпаровна Сатыбалдина – ассоциированный профессор, кандидат физико-математических наук, директор Научно-исследовательского института информационной безопасности и криптологии при Евразийском национальном университете имени Л.Н. Гумилева; г. Астана, Казахстан; e-mail: satybaldina_dzh@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0291-4685.

Айгуль Кайрулаевна Шайханова – PhD, профессор кафедры информационной безопасности; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева; координатор научных проектов ТОО «WebTotem», г. Астана, Казахстан; e-mail: aigul.shaikhanova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Альнур Рамашевич Кусаинов – докторант кафедры информационной безопасности; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева; г. Астана, Казахстан; e-mail: alnur97@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1469-455X.

Авторлар туралы мәліметтер

Асель Муратовна Нурушева* – PhD докторы, ақпараттық қауіпсіздік кафедрасының доцент м.а.; Л.Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті; Астана қ., Қазақстан; e-mail: asselnurusheva7@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5407-7191.

Дина Жағыпарқызы Сатыбалдина – доцент, физика-математика ғылымдарының кандидаты, Ақпараттық қауіпсіздік және криптология ғылыми-зерттеу институтының директоры Л.Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті; Астана қ., Қазақстанақстан; e-mail: satybaldina_dzh@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0291-4685.

Айгуль Кайрулаевна Шайханова – PhD, ақпараттық қауіпсіздік кафедрасының профессоры; Л.Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті; «WebTotem» ЖШС ғылыми жобалардың үйлестірушісі, Астана қ., Қазақстан; e-mail: aigul.shaikhanova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Әлнұр Рамашевич Құсайынов – ақпараттық қауіпсіздік кафедрасының докторанты; Л.Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті; Астана қ., Қазақстан; e-mail: alnur97@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1469-455X.

Information about the authors

Assel Nurusheva* – PhD, Acting Associate Professor of the Department of Information Security; L.N. Gumilyov Eurasian National University; Astana, Kazakhstan; e-mail: asselnurusheva7@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5407-7191.

Dina Satybaldina – Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Director of the Research Institute of Information Security and Cryptology at L.N. Gumilyov Eurasian National University; Astana, Kazakhstan; e-mail: satybaldina_dzh@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0291-4685.

Aigul Kairulaevna Shaikhanova – PhD, Professor of the Department of Information Security; L.N. Gumilyov Eurasian National University; Coordinator of scientific projects of WebTotem LLP, Astana, Kazakhstan; e-mail: aigul.shaikhanova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Alnur Kussainov – PhD student of the Department of Information Security; L.N. Gumilyov Eurasian National University; Astana, Kazakhstan; e-mail: alnur97@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1469-455X.

Поступила в редакцию 11.06.2025
Поступила после доработки 27.06.2025
Принята к публикации 01.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-7

МРНТИ: 81.13.05

BY 4.0
Check for updates

К.Б. Тусупова
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71
e-mail: kamshat-0707@mail.ru

АЛГОРИТМ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В ОТКРЫТОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Аннотация: *Одной из актуальных проблем в области автоматизации управления экономическими процессами является сложность нахождения аналитического решения задач оптимального управления в нелинейных экономических моделях. Это обусловлено наличием сложных взаимосвязей между переменными, ограничений на распределение ресурсов и воздействия внешних факторов. В таких условиях традиционные аналитические методы становятся неэффективными, что требует применения численных алгоритмов. В статье разработан численный алгоритм для оптимального распределения ресурсов в открытой экономической системе. Основой метода является использование множителей Лагранжа и метода золотого сечения для нахождения стационарного состояния системы при наличии ограничений на трудовые и инвестиционные ресурсы. Предложенный подход позволяет автоматизировать вычислительные процессы и обеспечить высокую точность расчетов. Для реализации алгоритма использован математический пакет Maple. В статье рассмотрены особенности программной реализации алгоритма, даны численные эксперименты, демонстрирующие его устойчивость и точность. Разработанный алгоритм может быть применен в информационных системах управления ресурсами, автоматизированных системах планирования и принятия решений на предприятиях. Он позволяет моделировать экономические процессы и прогнозировать оптимальные траектории распределения ресурсов с учетом внешних факторов. Полученные результаты подтверждают эффективность подхода для задач автоматизации и информационных технологий в сфере экономического анализа и управления.*

Ключевые слова: *численный алгоритм, численный метод, оптимальное распределение, открытая экономика, нелинейное программирование.*

Введение

Современные экономические системы характеризуются сложными динамическими процессами, требующими эффективных методов управления и оптимального распределения ресурсов. В условиях цифровизации и развития автоматизированных технологий особую значимость приобретают численные методы, позволяющие решать задачи оптимального управления в экономических моделях. Одним из ключевых направлений исследований в данной области является разработка алгоритмов, обеспечивающих высокую вычислительную эффективность при решении сложных нелинейных задач.

Одной из актуальных проблем в данной области является невозможность нахождения аналитического решения задач оптимального управления в нелинейных экономических моделях. Это требует использования вычислительных методов и специализированного программного обеспечения. Важным направлением исследований становится разработка эффективных алгоритмов, создание программных систем для их реализации и изучение методов оптимального принятия решений в условиях динамических управляемых систем.

Существующие исследования охватывают широкий спектр методов, направленных на решение задач оптимального управления. Среди них можно выделить фракционное оптимальное управление [1], эволюционные алгоритмы оптимизации [2, 3], спектральные методы и численные техники для решения нелинейных дифференциальных уравнений [4-6], а также проблемы разработки программного обеспечения для автоматизации вычислений [7, 8]. В этом контексте классические методы, такие как метод множителей Лагранжа, играют важную роль, позволяя преобразовывать задачи с ограничениями в эквивалентные безограниченные формы. Это упрощает вычислительные процедуры и снижает сложность их реализации в программных средах [9-12].

Условия и методы исследования

Рассмотрим математическую модель открытой экономики. Согласно этой модели, объем выпуска продукции в каждом $i-$ м секторе определяется через производственную функцию Кобба-Дугласа:

$$X_i = F_i(K_i,\ L_i) = A_i K_i^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i}, \quad (i = 0,\ 1,\ 2) \tag{1}$$

Здесь X_i- объем выпускаемой продукции, K_i- объем основных производственных фондов, L_i- объем трудовых ресурсов, A_i – коэффициент нейтрального научно-технического прогресса, α_i- коэффициент эластичности фондов, $(1-\alpha_i)-$ коэффициент эластичности трудовых ресурсов.

За каждым сектором закреплены основные производственные фонды (ОПФ), в то время как трудовые ресурсы и инвестиции можно свободно перемещать между секторами. Изменение за период ОПФ і-го сектора состоит из износа $-\mu_i K_i$ и прироста за счет капиталовложений I_i:

$$\frac{dK_i}{dt} = -\mu_i K_i + I_i,\ K_i(0) = K_i^0,\ i = 0,1,2. \tag{2}$$

Введем следующие обозначения:

$\theta_i = \frac{L_i}{L}-$ доли секторов в распределении трудовых ресурсов;

$s_i = \frac{I_i}{X_1}-$ доли секторов в распределении инвестиционных ресурсов;

$f_i(k_i) = \frac{X_i}{L_i}-$ производительность труда *i*–го сектора.

$k_i = \frac{K_i}{L_i}-$ фондовооруженность секторов;

$y_1 = \frac{Y_1}{L}-$ доля импорта товаров для инвестиций;

$y_2 = \frac{Y_2}{L}-$ доля импорта товаров для потребления;

$x_i = \theta_i f_i(k_i)-$ удельный выпуск секторов;

Тогда уравнения (2) запишем в следующем виде для фондовоорженности секторов:

$$\dot{k}_i = -\lambda_i k_i + \left(\frac{s_i}{\theta_i}\right)(x_1 + y_1), \quad k_i(0) = k_i^0, \quad \lambda_i > 0, \quad (i = 0,\ 1,\ 2), \tag{3}$$

$$x_i = \theta_i A_i {k_i}^{\alpha_i}, \quad A_i > 0, \quad 0 < \alpha_i < 1, \quad (i = 0,\ 1,\ 2), \tag{4}$$

со следующими ограничениям:

инвестиционный баланс: $s_0 + s_1 + s_2 = 1, \quad s_i > 0,\ i = 0,1,2$ (5)

трудовой баланс: $\theta_0 + \theta_1 + \theta_2 = 1, \quad \theta_i > 0,\ i = 0,1,2$ (6)

материальный баланс: $(1-\beta_0)x_0 = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + y_0, \quad 0 < \beta_i < 1, i = 0,1,2$ (7)

внешнеторговый баланас: $q_0 y_0 = q_1 y_1 + q_2 y_2$ (8)

индустриальная безопасность: $y_1 \le \gamma_1 x_1, \quad y_2 \le \gamma_2 x_2$ (9)

Здесь γ_1- коэффициент квотирования на импорт инвестиционных товаров, z_0- доля экспорта материалов, q_0- мировая цена экспортируемых материалов, q_1, q_2- мировые цены импортируемых инвестиционных и потребительских товаров, λ_i- коэффициент снижения фондовооруженности из-за износа капитала и роста занятости, β_i- прямые материальные затраты на единицу продукции *i*-го сектора.

Постановка задачи заключается в нахождении оптимального распределения ресурсов между потребительским и инвестиционным секторами в открытой экономике с учетом квот на импорт инвестиционных товаров. Целью является максимизация удельного выпуска потребительского сектора ($x_2 = \theta_2 A_2 {k_2}^{\alpha_2}$), который служит основным источником прибыли. Для этого необходимо учитывать долю экспорта материалов, мировые цены на экспортируемые материалы, а также цены на импортируемые инвестиционные и потребительские товары. Это приводит к постановке задачи нелинейного программирования, цель которой — нахождение устойчивого состояния системы. В статье, индустриальная безопасность трактуется как соблюдение условий, обеспечивающий равновесие и устойчивость системы.

$$y_1 = \gamma_1 x_1,\ y_2 = \gamma_2 x_2. \tag{10}$$

Тогда уравнение внешнеторгового баланаса (8) запишем следующим образом:

$$y_0 = \frac{q_1}{q_0}\gamma_1 x_1 + \frac{q_2}{q_0}\gamma_2 x_2. \tag{11}$$

Таким образом, формулировка задачи оптимального распределения ресурсов экономической системы выглядит следующим образом:

$$x_2 \xrightarrow[s_i,\ \theta_i]{} max \tag{12}$$

при условиях:

$$s_0 + s_1 + s_2 = 1, \quad s_i > 0, \tag{13}$$

$$\theta_0 + \theta_1 + \theta_2 = 1, \quad \theta_i > 0, \tag{14}$$

$$(1-\beta_0)x_0 = \left(\beta_1 + \frac{q_1}{q_0}\gamma_1\right)x_1 + \left(\beta_2 + \frac{q_2}{q_0}\gamma_2\right)x_2, \quad 0 < \beta_i < 1, \tag{15}$$

$$x_i = \theta_i A_i {k_i}^{\alpha_i}, \quad A_i > 0, \quad 0 < \alpha_i < 1, \tag{16}$$

$$-\lambda_i k_i + \frac{s_i}{\theta_i}(1+\gamma_1)\theta_1 A_1 {k_1}^{\alpha_1} = 0, \quad \lambda_i > 0, \quad (i = 0,\ 1,\ 2). \tag{17}$$

Разработанная упрощенная модель позволяет более эффективно исследовать устойчивость экономической системы, акцентируя внимание на тех условиях и ограничениях, которые непосредственно влияют на поддержание равновесия и стабильности в производственной среде.

Решение задачи. Так как производится поиск стационарного решения, фондовооруженность секторов остается постоянной на протяжении времени. В таком случае, из уравнения (3) можно вывести следующую систему нелинейных уравнений.

$$-\lambda_0 k_0 + \frac{s_0\theta_1}{\theta_0}(1+\gamma_1)A_1 {k_1}^{\alpha_1} = 0, \tag{18}$$

$$-\lambda_1 k_1 + s_1(1+\gamma_1)A_1 {k_1}^{\alpha_1} = 0, \tag{19}$$

$$-\lambda_2 k_2 + \frac{s_2\theta_1}{\theta_2}(1+\gamma_1)A_1 {k_1}^{\alpha_1} = 0. \tag{20}$$

И параллельно здесь находим формулы для k_i:

$$k_0 = \frac{s_0\theta_1}{\theta_0 s_1} s_1^{\frac{1}{1-\alpha_1}} \left(\frac{A_1}{\lambda_1}(1+\gamma_1)\right)^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}} \frac{A_1}{\lambda_0}(1+\gamma_1) \tag{21}$$

$$k_1 = s_1^{\frac{1}{1-\alpha_1}} \left(\frac{A_1}{\lambda_1}(1+\gamma_1)\right)^{\frac{1}{1-\alpha_1}} \tag{22}$$

$$k_2 = \frac{s_2\theta_1}{\theta_2 s_1} s_1^{\frac{1}{1-\alpha_1}} \left(\frac{A_1}{\lambda_1}(1+\gamma_1)\right)^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}} \frac{A_1}{\lambda_2}(1+\gamma_1) \tag{23}$$

Подставив значения k_0, k_1и k_2, полученные из формул (21) – (23), в исходную формулу удельного выпуска для каждого сектора (16), получаем преобразованную систему уравнений в виде:

$$x_0 - \left(\frac{s_0\theta_1}{\theta_0 s_1}\right)^{\alpha_0} \theta_0 s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}} \omega_0 = 0 \tag{24}$$

$$x_1 - \theta_1 s_1^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}} \omega_1 = 0 \tag{25}$$

$$x_2 - \left(\frac{s_2\theta_1}{\theta_2 s_1}\right)^{\alpha_2} \theta_2 s_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}} \omega_2 = 0 \tag{26}$$

где через $\omega_j, j = 0,1,2$ обозначены постоянные коэффициенты системы:

$$\omega_0 = A_0\left(\frac{A_1}{\lambda_0}(1+\gamma_1)\right)^{\alpha_0}\left(\frac{A_1}{\lambda_1}(1+\gamma_1)\right)^{\frac{\alpha_0\alpha_1}{1-\alpha_1}}$$

$$\omega_1 = A_1\left(\frac{A_1}{\lambda_1}(1+\gamma_1)\right)^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}}$$

$$\omega_2 = A_2\left(\frac{A_1}{\lambda_2}(1+\gamma_1)\right)^{\alpha_2}\left(\frac{A_1}{\lambda_1}(1+\gamma_1)\right)^{\frac{\alpha_2\alpha_1}{1-\alpha_1}}$$

Так как система уравнений (24) – (26) состоит из шести управляющих параметров, и эти параметры описаны тремя балансировочными соотношениями (13) – (15), тогда количество свободных управляющих параметров три. В данной работе в качестве свободных управляющих параметров выбирается s_1 и θ_1.

Для максимизации удельного выпуска потребительского сектора используется принцип золотого сечения, который помогает определить такие пропорции между управляющими параметрами $\theta_i, s_i,\ i = 0,1,2$ которые обеспечат максимальный удельный выпуск с учетом всех ограничений и взаимозависимостей между ними.

Поскольку s_1 и θ_1 являются свободными переменными, остаточная доля ресурсов для материального и потребительского секторов будет составлять $1 - s_1$ и $1 - \theta_1$ соответственно. Обозначив через m – долю потребительского сектора в остаточных инвестиционных ресурсах и через h – долю потребительского сектора в остаточных трудовых ресурсах, получаем следующие выражения для распределения:

для трудовых ресурсов:

$$\theta_0 = (1-h)(1-\theta_1),\quad \theta_2 = h(1-\theta_1) \tag{26}$$

для инвестиционных ресурсов:

$$s_0 = m(1-s_1),\ \ s_2 = (1-m)(1-s_1). \tag{27}$$

И так преобразуя исходную задачу (12) – (17) с помощью (26) и (27), получаем следующую задачу нелинейного программирования:

$$x_2 \xrightarrow[s_i,\ \theta_i]{} max \tag{28}$$

при условиях:

$$(1-\beta_0)x_0 = \left(\beta_1 + \frac{q_1}{q_0}\gamma_1\right)x_1 + \left(\beta_2 + \frac{q_2}{q_0}\gamma_2\right)x_2,\quad 0 < \beta_i < 1,\ \ i = 0,1,2, \tag{29}$$

$$x_0 = \left(\frac{m(1-s_1)\theta_1)}{(1-h)(1-\theta_1)s_1}\right)^{\alpha_0}\theta_0 s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}\omega_0, \tag{30}$$

$$x_1 = \theta_1 s_1^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}}\omega_1, \tag{31}$$

$$x_2 = \left(\frac{(1-m)(1-s_1)\theta_1}{h(1-\theta_1)s_1}\right)^{\alpha_2}\theta_2 s_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}\omega_2. \tag{32}$$

Для решения поставленной задачи применим метод множителей Лагранжа. Функцию Лагранжа запишем в следующем виде:

$$L(\theta_1, s_1, h, m, x_0, x_1, x_2, c_1, c_2, c_3, c_4) = -x_2 + c_1\left((1-\beta_0)x_0 - \left(\beta_1 + \frac{q_1}{q_0}\gamma_1\right)x_1 - \left(\beta_2 + \frac{q_2}{q_0}\gamma_2\right)x_2\right) +$$

$$+c_2\left(x_0 - \left(\frac{m(1-s_1)\theta_1)}{(1-h)(1-\theta_1)s_1}\right)^{\alpha_0}(1-h)(1-\theta_1)s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}y_0\right) + c_3\left(x_1 - \theta_1 s_1^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}}y_1\right) +$$

$$+c_4\left(x_2 - \left(\frac{(1-m)(1-s_1)\theta_1}{h(1-\theta_1)s_1}\right)^{\alpha_2}h(1-\theta_1)s_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}y_2\right). \tag{33}$$

Для исследования функции (33) на экстремум, запишем необходимые условия экстремума первого порядка:

$$\frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \theta_1}=0,\qquad \frac{\partial \mathrm{L}}{\partial s_1}=0,\qquad \frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \mathrm{m}}=0,\qquad \frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \mathrm{h}}=0,\qquad \frac{\partial \mathrm{L}}{\partial x_i}=0,\qquad (i=0,1,2)$$

сформулируем условие стационарности:

$$\frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \theta_1}=\mathrm{c}_2\left(\frac{\mathrm{m}(1-\mathrm{s}_1)\theta_1}{(1-\mathrm{h})(1-\theta_1)\mathrm{s}_1}\right)^{\alpha_0}(1-\mathrm{h})\mathrm{s}_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}\mathrm{y}_0\left(1-\frac{\alpha_0}{\theta_1}\right)-\mathrm{c}_3\mathrm{s}_1^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}}\mathrm{y}_1+$$

$$+\mathrm{c}_4\left(\frac{(1-\mathrm{m})(1-\mathrm{s}_1)\theta_1}{h(1-\theta_1)\mathrm{s}_1}\right)^{\alpha_2}h\mathrm{s}_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}\mathrm{y}_2\left(1-\frac{\alpha_2}{\theta_1}\right)=0 \tag{34}$$

$$\frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \mathrm{s}_1}=\mathrm{c}_2\left(\frac{\mathrm{m}(1-\mathrm{s}_1)\theta_1}{(1-\mathrm{h})(1-\theta_1)\mathrm{s}_1}\right)^{\alpha_0}\alpha_0(1-\mathrm{h})(1-\theta_1)\mathrm{s}_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}\frac{\mathrm{y}_0}{\mathrm{s}_1}\left(\frac{1}{1-\mathrm{s}_1}-\frac{1}{1-\alpha_1}\right)-$$

$$-\mathrm{c}_3\frac{\alpha_1\theta_1\mathrm{s}_1^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}}\mathrm{y}_1}{(1-\alpha_1)\mathrm{s}_1}-\mathrm{c}_4\alpha_2\left(\frac{(1-\mathrm{m})(1-\mathrm{s}_1)\theta_1}{(1-\theta_1)h\mathrm{s}_1}\right)^{\alpha_2}(1-\theta_1)h\mathrm{s}_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}\frac{\mathrm{y}_2}{\mathrm{s}_1}\left(\frac{1}{1-\mathrm{s}_1}-\frac{1}{1-\alpha_1}\right)=0 \tag{35}$$

$$\frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \mathrm{m}}=-\frac{\mathrm{c}_2\left(\frac{\mathrm{m}(1-\mathrm{s}_1)\theta_1}{(1-\mathrm{h})(1-\theta_1)\mathrm{s}_1}\right)^{\alpha_0}\alpha_0(1-\mathrm{h})(1-\theta_2)\mathrm{s}_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}\mathrm{y}_0}{\mathrm{m}}+\frac{\mathrm{c}_4\alpha_2\left(\frac{(1-\mathrm{m})(1-\mathrm{s}_1)\theta_1}{(1-\theta_1)h\mathrm{s}_1}\right)^{\alpha_2}\mathrm{h}(1-\theta_1)\mathrm{s}_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}\mathrm{y}_2}{1-\mathrm{m}}=0 \tag{36}$$

$$\frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \mathrm{h}}=\mathrm{c}_2\left(\frac{\mathrm{m}(1-\mathrm{s}_1)\theta_1}{(1-\mathrm{h})(1-\theta_1)\mathrm{s}_1}\right)^{\alpha_0}(1-\theta_1)\mathrm{s}_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}\mathrm{y}_0(1-\alpha_0)+$$

$$+\mathrm{c}_4(1-\theta_1)\mathrm{s}_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}\mathrm{y}_2\left(\frac{(1-\mathrm{m})(1-\mathrm{s}_1)\theta_1}{(1-\theta_1)h\mathrm{s}_1}\right)^{\alpha_2}(1-\alpha_2)=0 \tag{37}$$

$$\frac{\partial \mathrm{L}}{\partial x_0}=(1-\beta_0)\mathrm{c}_1+\mathrm{c}_2=0 \tag{38}$$

$$\frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \mathrm{x}_1}=-\left(\beta_1+\frac{\mathrm{q}_1}{\mathrm{q}_0}\gamma_1\right)\mathrm{c}_1+\mathrm{c}_3=0 \tag{39}$$

$$\frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \mathrm{x}_2}=-1-\left(\beta_2+\frac{\mathrm{q}_2}{\mathrm{q}_0}\gamma_2\right)\mathrm{c}_1+\mathrm{c}_4=0 \tag{40}$$

Таким образом, получили нелинейную систему из одиннадцать уравнений (29)-(32) и (34)-(40) с из одиннадцатью неизвестными параметрами. Из данной системы путем алгебраических преобразований находится управляющие параметры и множители.

Для обеспечения оптимального роста между секторами и сбалансированного распределения трудовых и инвестиционных ресурсов между секторами с учетом их эластичности, соотношения между управляющими параметрами должны удовлетворять равенствам соотношений [13]:

$$\frac{s_0\theta_1}{\theta_0 s_1}=\frac{\mathrm{m}(1-\mathrm{s}_1)\theta_1}{(1-\mathrm{h})(1-\theta_1)\mathrm{s}_1}=\frac{\alpha_0(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_0)} \tag{41}$$

$$\frac{s_2\theta_1}{\theta_2 s_1}=\frac{(1-\mathrm{m})(1-\mathrm{s}_1)\theta_1}{h(1-\theta_1)\mathrm{s}_1}=\frac{\alpha_2(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_2)} \tag{42}$$

$$\frac{s_0\theta_2}{\theta_0 s_2}=\frac{m(1-\mathrm{s}_1)h(1-\theta_1)}{(1-\mathrm{h})(1-\theta_1)(1-m)(1-\mathrm{s}_1)}=\frac{\alpha_0(1-\alpha_2)}{\alpha_2(1-\alpha_0)} \tag{43}$$

Это позволит каждому сектору развиваться гармонично, минимизируя диспропорции в распределении производственных факторов.

Далее задача нахождения оптимального распределения ресурсов между потребительским и инвестиционным секторами с учётом квот на импорт инвестиционных товаров решается с помощью построения нелинейной функции $f(s_1)$, которая представляет решение для всех параметров и переменных, от неё зависящих:

Алгоритм численного решения. Численное решение поставленной задачи начинается с нахождения значение параметра s_1.

Шаг 1. Вычисляется значение s_1 из алгебраической нелинейной функции $f(s_1)$, где s_1 варьируется в диапазоне от 0 до 1 (рис. 1). Функция определяется выражением:

$$f(s_1) = s_1\left((1-\alpha_0)(1-\beta_0)\left(\frac{\alpha_0(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_0)}\right)^{\alpha_0}\omega_0 s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}} + (1-\alpha_1)\left(\beta_1+\frac{q_1}{q_0}\gamma_1\right)\omega_1 s_1^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}}\right) -$$

$$-\alpha_1(1-\alpha_0)(1-\beta_0)\left(\frac{\alpha_0(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_0)}\right)^{\alpha_0}\omega_0 s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}. \quad (44)$$

Шаг 2. Найти множители Лагранжа c_2, c_3, c_4 и c_1 по формулам:

$$c_1 = -\frac{\omega_2(1-\alpha_2)\left(\frac{\alpha_2(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_2)}\right)^{\alpha_2} s_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}}{\omega_0(1-\alpha_0)\left(\frac{\alpha_0(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_0)}\right)^{\alpha_0} s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}(1-\beta_0)-\omega_2(1-\alpha_2)\left(\frac{\alpha_2(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_2)}\right)^{\alpha_2}\left(\beta_2+\frac{q_2}{q_0}\gamma_2\right)s_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}}, \quad (45)$$

$$c_2 = -(1-\beta_0)c_1, \quad (46)$$

$$c_3 = \left(\beta_1+\frac{q_1}{q_0}\gamma_1\right)c_1, \quad (47)$$

$$c_4 = 1+\left(\beta_2+\frac{q_2}{q_0}\gamma_2\right)c_1, \quad (48)$$

Шаг 3. Определить значения управляющего параметра h по формуле:

$$h = \frac{(1-\alpha_2)\left((1-\beta_0)\omega_0\left(\frac{\alpha_0(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_0)}\right)^{\alpha_0} s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}+\omega_1\left(\beta_1+\frac{q_1}{q_0}\gamma_1\right)s_1^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}}\right)}{(1-\alpha_2)\left((1-\beta_0)\omega_0\left(\frac{\alpha_0(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_0)}\right)^{\alpha_0} s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}+\left(\beta_2+\frac{q_2}{q_0}\gamma_2\right)\omega_2\left(\frac{\alpha_2(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_2)}\right)^{\alpha_2} s_1^{\frac{\alpha_2}{1-\alpha_1}}\right)+\left(\beta_1+\frac{q_1}{q_0}\gamma_1\right)\omega_1 s_1^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}}}. \quad (49)$$

Шаг 4. Вычислить управляющего параметра m по формуле:

$$m = \frac{\alpha_0(1-\alpha_2)(1-h)}{\alpha_0(1-\alpha_2)+h(\alpha_2-\alpha_0)}. \quad (50)$$

Шаг 5. Определить значения управляющего параметра θ_1:

$$\theta_1 = \frac{c_2\omega_0\left(\frac{\alpha_0(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_0)}\right)^{\alpha_0} s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}\left(\alpha_0(1-\alpha_2)+h(\alpha_2-\alpha_0)\right)}{(1-\alpha_2)\left(c_2\omega_0\left(\frac{\alpha_0(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_0)}\right)^{\alpha_0} s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}-c_3\omega_1 s_1^{\frac{\alpha_1}{1-\alpha_1}}\right)+c_2\omega_0\left(\frac{\alpha_0(1-\alpha_1)}{\alpha_1(1-\alpha_0)}\right)^{\alpha_0} s_1^{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}}h(\alpha_2-\alpha_0)}. \quad (51)$$

Шаг 6. Расчёт значений управляющих параметров $\theta_0, \theta_2, s_0, s_2$, используя выражения (26) и (27).

Шаг 7. Определить стационарного состояния фондовооружённости секторов на основе уравнений (21) – (23).

Шаг 8. Определить стационарное состояние производственных функций в относительных показателях с использованием формул (30) – (32).

Шаг 9. Расчёт удельного экспорта материалов согласно уравнению (10)-(11).

Результаты исследований

На основании описанного алгоритма были проведены численные расчёты, в результате которых получены оптимальные значения распределения ресурсов между секторами экономики.

Таблица 1 – Коэффициенты модели

i	0	1	2
α_i	0,68	0,68	0,45
β_i	0,39	0,49	0,52
λ_i	0,05	0,05	0,05
A_i	3,19	4,35	5,71

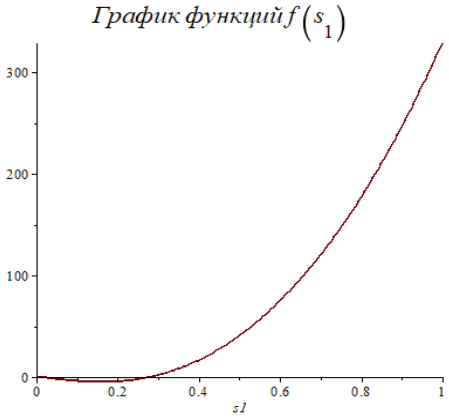


Рисунок 1 – График функций $f(s_1)$

Таблица 2 – Результаты расчета стационарного состояния открытой экономической системы

i	0	1	2
θ_i	0.3586366990	0.1841598625	0.4572034385
s_i	0.4990453594	0.256	0.2449546406
k_i	57872.60754	57813.96306	22282.50132
x_i	1981.194374	1386.329621	236.2269102
y_i	405.6391328	346.5824052	59.05672755

Обсуждение научных результатов

Как видно из расчётов, преобладание трудовых ресурсов в потребительском секторе θ_2 обусловлено высокой трудоёмкостью данного сегмента экономики. Производство товаров конечного спроса требует значительных трудозатрат, в то время как в фондосоздающем секторе наблюдается высокая степень автоматизации и капиталоёмкости. Кроме того, большая доля инвестиций в материальном секторе s_0 связана с необходимостью поддержания и расширения производственных мощностей. Материальный сектор обеспечивает сырьевые и промежуточные товары, являясь основой для функционирования остальных отраслей.

Фондосоздающий сектор s_1 получает значительную долю инвестиций, что соответствует его роли в обеспечении обновления капитала и инфраструктурного развития.

Таким образом, предложенная модель оптимального распределения ресурсов подтверждает сбалансированность и экономическую обоснованность найденных пропорций. Сформированные соотношения между θ_i и s_i соответствуют экономическим реалиям и требованиям устойчивого роста.

Заключение

В данной работе представлен алгоритм для численных расчетов эффективного распределения ресурсов в открытой экономической системе. Разработанный подход позволяет автоматизировать процесс оптимизации, учитывая влияние внешних факторов и ограничения, связанные с производственными ресурсами. Предложенный метод может быть интегрирован в интеллектуальные информационные системы, соответствуя современным требованиям автоматизации и цифровизации экономических процессов. Полученные результаты подтверждают применимость разработанного алгоритма в задачах анализа и оптимизации производственно-экономических систем, делая его востребованным инструментом в сфере информационных технологий управления ресурсами.

Список литературы

1. Moradikashkooli A. An efficient optimization algorithm for nonlinear 2D fractional optimal control problems / A. Moradikashkooli, H. Haj Seyyed Javadi, S. Jabbehdari // J Supercomput. – 2024. – Vol. 80 – P. 7906-7930. https://doi.org/10.1007/s11227-023-05732-z.

2. Mohamed A.W. A novel differential evolution algorithm for solving constrained engineering optimization problems / A.W. Mohamed // J Intell Manuf. – 2018. – Vol. 29. – P. 659-692. https://doi.org/10.1007/s10845-017-1294-6.

3. Mohamed A.W. Adaptive guided differential evolution algorithm with novel mutation for numerical optimization / A.W. Mohamed, A.K. Mohamed // Int. J. Mach. Learn. & Cyber. – 2019. – Vol. 10. – P. 253-277. https://doi.org/10.1007/s13042-017-0711-7.
4. Mukesh K.R. A novel hybrid approach for computing numerical solution of the time-fractional nonlinear one and two-dimensional partial integro-differential equation / K.R. Mukesh, K.V. Amit, C. Carlo // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 2023. – Vol.118. – P. 106986. https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2022.106986.
5. Dehghan R.A numerical solution of variable order fractional functional differential equation based on the shifted Legendre polynomials / R. Dehghan // SeMA. – 2019. – Vol. 76. – P. 217-226. https://doi.org/10.1007/s40324-018-0173-1.
6. Farzaneh S. A numerical approach for solving a class of two-dimensional variable-order fractional optimal control problems using Gegenbauer operational matrix / S. Farzaneh, S. Fahimeh, M. Kamal // IMA Journal of Mathematical Control and Information. – 2023. – Vol. 40(1). – P. 1-19. https://doi.org/10.1093/imamci/dnac031.
7. Software Engineering for Optimal Control Problems / A. Gornov et al // MANCS. – 2021. – Vol. 424. – H. 416-426.
8. Framework of Decision Support System for Effective Resource Management / I.N. Muhammad et al // Dubai, United Arab Emirates. – 2023. – P. 1-7. https://doi.org/10.1109/ICBATS57792.2023.10111307.
9. Murzabekov Z.N. Solution of steady state search problem in three-sector economic model of a cluster / Z.N. Murzabekov, M. Milosz, K.B. Tussupova // Actual Problems of Economics. – 2015. – Vol. 165(3). – P. 443-452.
10. Development of an algorithm for solving the problem of optimal control on a finite interval for a nonlinear system of a three-sector economic cluster / Z. Murzabekov et al // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – Vol. 1(3-115). – P. 43-52. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252866.
11. Murzabekov Z. The optimal control problem with fixed-end trajectories for a three-sector economic model of a cluster / Z. Murzabekov, M. Milosz, K. Tussupova // ACIIDS, 2018, Dong Hoi City, Vietnam. – 2018. – Vol.10751 LNAI. – P. 382-391. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75417-8_36
12. Problems of Optimal Control for a Class of Linear and Nonlinear Systems of the Economic Model of a Cluster / Z. Murzabekov et al // Vietnam Journal of Computer Science. – 2020. – Vol.7(2). – P. 109-127. https://doi.org/10.1142/S2196888820500062.
13. Murzabekov З. Development of a model of efficient resource allocation in an open three-sector economy for balanced growth / З. Murzabekov, K. Tussupova // Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science. – 2025. – № 124(4). – P. 59-70. https://doi.org/10.26577/JMMCS2024-v124-i4-a5.

Благодарности. *Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP22684879).*

К.Б. Тусупова
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., әл-Фараби даңғылы, 71
e-mail: kamshat-0707@mail.ru

АШЫҚ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖҮЙЕДЕ РЕСУРСТАРДЫ ТИІМДІ ҮЛЕСТІРУДІҢ САНДЫҚ ЕСЕПТЕУ АЛГОРИТМІ

Экономикалық процестерді автоматтандыру саласындағы өзекті мәселелердің бірі – сызықты емесе экономикалық модельдерде тиімді басқару есептерінің аналитикалық шешімін табудың күрделілігі. Бұл айнымалылар арасындағы күрделі байланыстардың, ресурстарды бөлуге қойылатын шектеулердің және сыртқы факторлар әсерінің болуымен байланысты. Мұндай жағдайда дәстүрлі аналитикалық әдістер тиімсіз болып қалатындықтан, сандық алгоритмдерді қолдануды талап етеді. Мақалада ашық экономикалық жүйеде ресурстарды тиімді бөлуге арналған сандық алгоритм ұсынылған. Жүйенің еңбек және инвестициялық ресурстарға шектеулер қойылған жағдайында стационарлық күйін анықтау үшін Лагранж көбейткіштері мен алтын қима әдісін пайдаланылады. Ұсынылған тәсіл есептеу процестерін автоматтандырып, жоғары дәлдікті

қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Алгоритм Maple математикалық пакеті ортасында жүзеге асырылды. Мақалада алгоритмнің бағдарламалық іске асырылу ерекшеліктері қарастырылып, оның тұрақтылығы мен дәлдігін көрсететін сандық эксперименттер келтірілген. Дайындалған алгоритмді ресурстарды басқару ақпараттық жүйелерінде, кәсіпорындардағы автоматтандырылған жоспарлау және шешім қабылдау жүйелерінде қолданылуға болады. Ол экономикалық процестерді модельдеуге және сыртқы факторларды ескере отырып, ресурстарды тиімді бөлу траекторияларын болжауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер бұл тәсілдің экономикалық талдау мен басқару саласындағы автоматтандыру және ақпараттық технологиялар үшін тиімділігін растайды.

Түйін сөздер: *сандық алгоритм, сандық әдіс, тиімді үлестіру, ашық экономика, сызықты емес бағдарламалау.*

K.B. Tussupova
Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, 71 Al-Farabi Avenue
e-mail: kamshat-0707@mail.ru

NUMERICAL CALCULATION ALGORITHM FOR EFFECTIVE RESOURCE ALLOCATION IN AN OPEN ECONOMIC SYSTEM

One of the pressing issues in the field of economic process automation is the complexity of finding an analytical solution to optimal control problems in nonlinear economic models. This is due to complex interdependencies between variables, constraints on resource allocation, and external influences. In such conditions, traditional analytical methods become ineffective, requiring the application of numerical algorithms. This paper presents a numerical algorithm for optimal resource allocation in an open economic system. The method is based on the use of Lagrange multipliers and the golden section method to determine the stationary state of the system under labor and investment resource constraints. The proposed approach automates computational processes and ensures high calculation accuracy. The mathematical package Maple was used to implement the algorithm. The paper discusses the features of the algorithm's software implementation and provides numerical experiments demonstrating its stability and accuracy. The developed algorithm can be applied in resource management information systems, automated planning, and decision-making systems in enterprises. It enables modeling of economic processes and forecasting optimal resource allocation trajectories considering external factors. The obtained results confirm the effectiveness of the approach for automation and information technologies in economic analysis and management.

Key words: *numerical algorithm, numerical method, optimal allocation, open economy, nonlinear programming.*

Сведения об авторах

Камшат Бакытжановна Тусупова – PhD, ВНС кафедры «Информационные системы»; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан; e-mail: kamshat-0707@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5254-3432.

Автор туралы мәліметтер

Камшат Бакытжановна Тусупова – PhD, «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының жетекші ғылыми қызметкері; Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: kamshat-0707@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5254-3432.

Information about the authors

Kamshat Bakytzhanovna Tussupova – PhD, Senior Researcher at the Department of Information Systems; Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: kamshat-0707@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5254-3432.

Поступила в редакцию 01.04.2025
Поступила после доработки 01.06.2025
Принята к публикации 02.06.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-8

BY 4.0
Check for updates

IRSTI: 28.23.37

D. Amrin[1], S. Mukhanov[2*], S. Amanzholova[2], B. Amirgaliyev[2]
[1]International Information Technology University,
050000, Republic of Kazakhstan, Almaty, 34/1 Manas Street
[2]Astana IT University,
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, 55/11 Mangilik El Avenue
*e-mail: s.mukhanov@astanait.edu.kz

A COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURAL NETWORK MODELS ON PREDICTING STOCK PRICES

Abstract: *Due to their complex and unpredictable nature, stock market movements were always challenging to predict. Factors like economic indicators, market sentiment, and political and global events significantly contribute to stock price unpredictability. There are different methods to analyze risks, returns, and average price movements, based on which investors make assumptions. Identifying patterns and making the right decision on large amounts of data is very difficult, but nowadays, with the advancement of neural networks, we can solve prediction problems by identifying patterns of high-dimensional sequential data. We will analyze and compare five neural network architectures, including Recurrent Neural Networks (RNNs), Long Short-Term Memory networks (LSTMs), Gated Recurrent Units (GRUs), Convolutional Neural Networks (CNNs), and Artificial Neural Networks (ANNs), to try to predict stock prices using historical data taken from Yahoo Finance API, which is widely used and reliable for financial data analysis. We will separate historical data into two parts, 80% of which will be trained and 20% will be tested. For each model, we will use different hyperparameters we selected as the most effective training. Popular Python libraries such as TensorFlow, Keras, and NumPy are used for efficient implementation. Additionally, we used preprocessing for data, such as data cleaning and normalization, to avoid errors and enhance model performance. The models are evaluated based on prediction accuracy using metrics like Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), and R-squared (R^2). Additionally, we use classification metrics such as the confusion matrix and Receiver Operating Characteristic - Area Under the Curve (ROC-AUC) to analyze each model's performance in predicting price movement directions. We concluded that the GRU model achieves the highest accuracy and reliability in our analysis, with notable performance in classification metrics. Conversely, the simple ANN model shows the worst results, highlighting the variability in predictive capabilities across different neural network architectures.*

Key words: *neural networks, deep learning, time-series forecasting, stock market prediction, financial data analysis.*

Introduction

With the advancement of machine learning and deep learning, stock market prediction and pattern recognition have shifted to complex methods [1, 2]. The stock market is known for its complexity and unpredictability, making accurate price prediction a challenging task that researchers, investors, financial institutions, and governments are always interested in [3, 4]. The volatility and randomness of stock prices are driven by dynamic factors that make price movements more unpredictable [5]. Traditional statistical and econometric models often lack in accurately capturing the complex patterns in financial data [6].

Neural networks show good results in processing large amounts of sequential data, recognizing complex patterns, and making predictions with improved accuracy [7]. Among these architectures, Recurrent Neural Networks (RNNs) and their advanced alternatives have also been shown to effectively process time series data, making them suitable for financial forecasting.

For example, Gao et al. [8] compared LSTM to GRU for stock price prediction, both optimized by least absolute shrinkage and selection operator and principal component analysis.

Additionally, convolutional neural networks (CNNs), typically used for image processing, are gaining attention due to their ability to identify local patterns in sequential data. [9].

The work of Mukherjee et al. [10], showed that CNN have better prediction compared to ANN. Durairaj et al. [11] implemented CNN in combination with Chaos Theory and Polynomial Regression (PR) for financial time series prediction in stocks indices, commodity prices and foreign exchange rates, and concluded that this hybrid approach is better than other models.

In other work, comparisons between hybrid CNN-RNN, CNN-LSTM, and CNN-GRU were made but lacked a standalone model for comprehensive analysis [12].

Artificial Neural Networks (ANNs), on the other hand, serve as simpler benchmarks for evaluating the performance of more complex models [13].

By finding the most effective neural network model for stock price prediction we will help other researchers and practitioners to choose the right model for implementation of neural networks in predictive tasks.

Materials and Methods

We use different neural network architectures to predict stock market price movements and outline the data sources, preprocessing steps, model architectures. Timeframe of 5 years were used.

Data preprocessing is a necessary step for preparing time-series data because it will help suit our data for neural network training [14]. Steps include data cleaning and normalization, which means scaling the input features for optimization of training for neural networks [15].

In our study we compare five different neural network models that is used to evaluate different aspects and efficiency of stock price behavior:

1. Recurrent Neural Networks (RNN): a model used for sequential data, that is capable of capturing time series dependencies [16].

2. Long Short-Term Memory (LSTM): an advanced variant of RNN that solves vanishing gradient issues which is ideal for long-term dependency learning in stock prices [17]. Gate units are stored in layers, and processed data is stored in hidden state or cell's state [18].

3. Gated Recurrent Units (GRU): another RNN variant like LSTM mode that is optimized for reducing computational complexity, while retaining memory of past prices, which is very useful in our analysis [19].

4. Convolutional Neural Networks (CNN): Applied to identify local patterns in the data using convolutional calculations [20].

5. Artificial Neural Networks (ANN): Used to establish a benchmark, this model captures simple relationships between inputs and outputs, providing a baseline comparison [21].

To assess model performance, we use Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), R-Squared (R^2).

Mean Absolute Error (MAE) measures the average absolute differences between predicted ($\hat{y}$) and actual (y_i) stock prices [22].

Mean Squared Error (MSE) emphasizes larger errors, and is useful for penalizing significant deviations:

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2 \quad (1)$$

where n is the number of predictions.

Root Mean Squared Error (RMSE): Provides an overall measure of model accuracy in original units and is the square root of MSE.

R-Squared (R^2): Indicates the proportion of variance explained by the model, offering insights into model fit quality:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \bar{y}\right)^2} \quad (2)$$

These metrics are important, because they provide quantitative measurement for the model's prediction accuracy, enabling objective evaluation and comparison of model performance across different neural network architectures [23].

Other crucial metrics are the confusion matrix and ROC-AUC (Receiver Operating Characteristic - Area Under the Curve).

By analyzing these metrics across multiple neural network models, we will identify an optimal model for stock market prediction, and based on the results, we will choose the better model and will identify what we need to include for better performance.

Results and Discussion

Figure 1 shows Microsoft's (MSFT) stock price movements and its moving averages. The 50-day moving average is more responsive to short-term price fluctuations. The 200-day moving average is less sensitive to short-term noise and provides a smoother representation of the long-

term price trend. It is often used as a key indicator of market sentiment and potential trend reversals. However, the moving average is less useful for forecasting long-term time series [24].

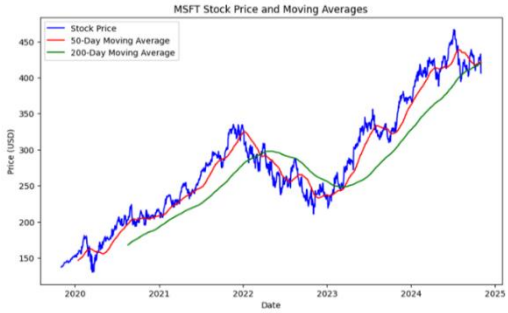
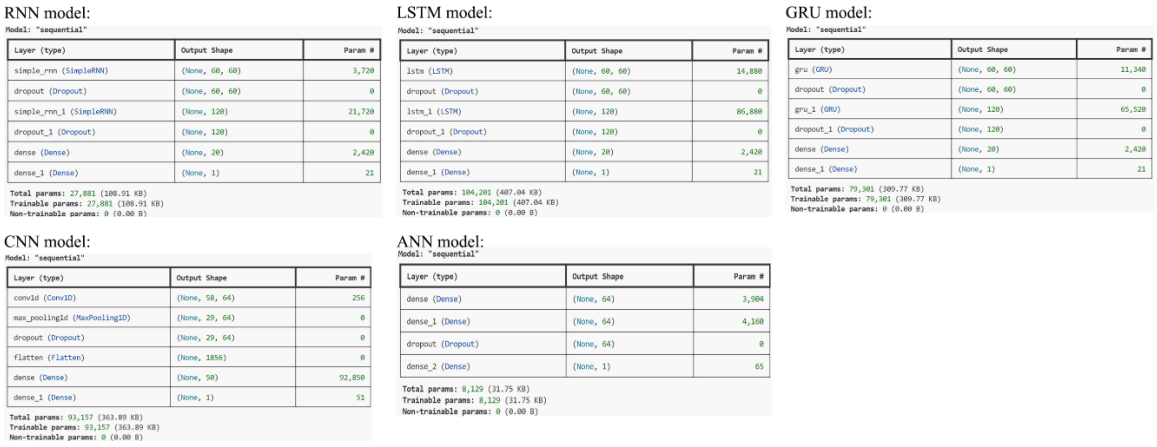


Figure 1 – Microsoft stock prices and moving averages

While moving averages offer valuable insights into market trends, their effectiveness can be limited by their dependence on historical data and their inability to adapt to rapidly changing market dynamics. To solve this problem, we propose integrating neural networks into technical analysis, which is a promising approach, as it will provide better results.

Firstly, we split our dataset into training set (80%) and a test set (20%), and built each model with Keras sequential model, adding different types of layers individually.

Figure 2 illustrates model layers. For the RNN model we use an RNN layer with 60 units for sequential dependencies in the input data, dropout to reduce overfitting, a second RNN with 120 units followed by dropout, a dense layer with 20 units and ReLU activation, and 1 unit output layer. LSTM model uses 2 LSTM layers with 60 units to capture long-term dependencies in the input data followed by a dropout layer to prevent overfitting. The next layer is LSTM with 60 units followed by a dropout layer, a dense layer with 20 units with ReLU activation, and 1 unit output layer.


RNN model:

Model: "sequential"

Layer (type)	Output Shape	Param #
simple_rnn (SimpleRNN)	(None, 60, 60)	3,720
dropout (Dropout)	(None, 60, 60)	0
simple_rnn_1 (SimpleRNN)	(None, 120)	21,720
dropout_1 (Dropout)	(None, 120)	0
dense (Dense)	(None, 20)	2,420
dense_1 (Dense)	(None, 1)	21

Total params: 27,881 (108.91 KB)
Trainable params: 27,881 (108.91 KB)
Non-trainable params: 0 (0.00 B)

LSTM model:

Model: "sequential"

Layer (type)	Output Shape	Param #
lstm (LSTM)	(None, 60, 60)	14,880
dropout (Dropout)	(None, 60, 60)	0
lstm_1 (LSTM)	(None, 120)	86,880
dropout_1 (Dropout)	(None, 120)	0
dense (Dense)	(None, 20)	2,420
dense_1 (Dense)	(None, 1)	21

Total params: 104,201 (407.04 KB)
Trainable params: 104,201 (407.04 KB)
Non-trainable params: 0 (0.00 B)

GRU model:

Model: "sequential"

Layer (type)	Output Shape	Param #
gru (GRU)	(None, 60, 60)	11,340
dropout (Dropout)	(None, 60, 60)	0
gru_1 (GRU)	(None, 120)	65,520
dropout_1 (Dropout)	(None, 120)	0
dense (Dense)	(None, 20)	2,420
dense_1 (Dense)	(None, 1)	21

Total params: 79,301 (309.77 KB)
Trainable params: 79,301 (309.77 KB)
Non-trainable params: 0 (0.00 B)

CNN model:

Model: "sequential"

Layer (type)	Output Shape	Param #
conv1d (Conv1D)	(None, 58, 64)	256
max_pooling1d (MaxPooling1D)	(None, 29, 64)	0
dropout (Dropout)	(None, 29, 64)	0
flatten (Flatten)	(None, 1856)	0
dense (Dense)	(None, 50)	92,850
dense_1 (Dense)	(None, 1)	51

Total params: 93,157 (363.89 KB)
Trainable params: 93,157 (363.89 KB)
Non-trainable params: 0 (0.00 B)

ANN model:

Model: "sequential"

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense (Dense)	(None, 64)	3,904
dense_1 (Dense)	(None, 64)	4,160
dropout (Dropout)	(None, 64)	0
dense_2 (Dense)	(None, 1)	65

Total params: 8,129 (31.75 KB)
Trainable params: 8,129 (31.75 KB)
Non-trainable params: 0 (0.00 B)

Figure 2 – Model layers

In our GRU model, we have a GRU layer with 60 units for long-term dependencies, a dropout layer to prevent overfitting, another GRU layer with 120 units, a dropout layer, a dense layer with 20 units followed by ReLU activation, and 1 one-unit output layer.

For the CNN model, we use a 1D convolutional layer, a 1D max pooling layer that helps reduce overfitting and computational cost, a dropout layer to reduce overfitting, a flatten layer that flattens the 2D feature maps into a 1D array, a layer with 50 units followed by a ReLU activation function, and an output layer with 1 unit.

For a simple ANN model, we use 2 dense layers with 64 units and ReLU activation, a dropout layer to reduce overfitting, and a dense output layer with 1 unit.

Figure 3 illustrates stock price prediction results against actual prices. While the RNN model is accurate in trend prediction overall, it may be bad at predicting sharp market movements. The LSTM model's strength in maintaining trend alignment with actual prices, but it may not fully capture the rapid price fluctuations as in the previous model. The GRU model's performance shows its strong potential for accurate stock price prediction, making it a valuable neural network model for financial predictions. CNN model shows good results in trend prediction but like other models, it performs

poorly in case of abrupt price changes. It is still a useful model for stock price prediction. ANN model's performance is less efficient for predicting MSFT stock prices, because of its inability to closely follow the actual price trends.

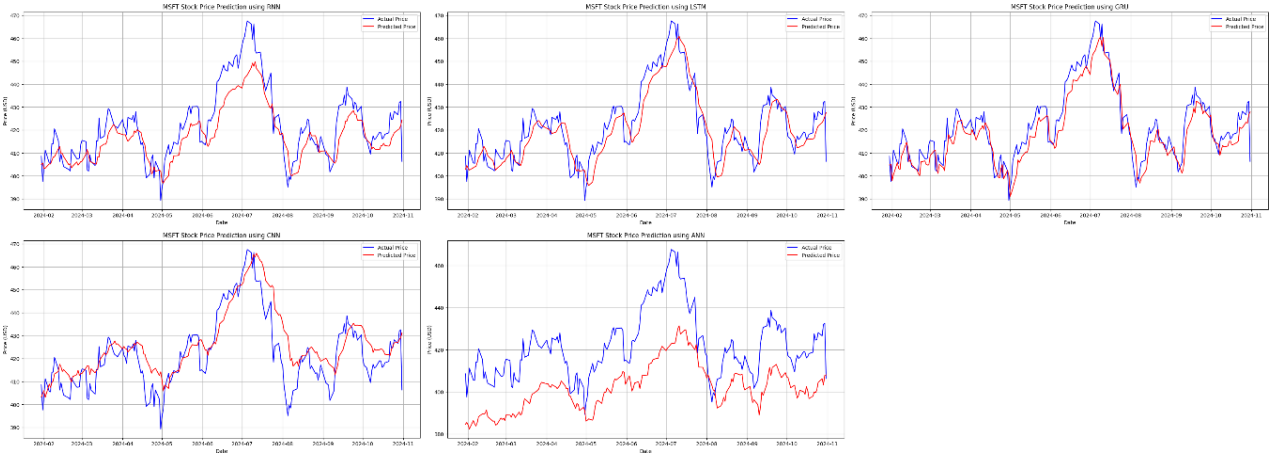


Figure 3 – Microsoft stock price prediction using neural network models

Figure 4 illustrates confusion matrices for models. The RNN model correctly predicted stock price increases (TP = 57) more often than it correctly predicted price drops (TN = 41), but it has a significant number of incorrect positive predictions (FP = 51) and false negatives (FN = 42). This shows us that the RNN model overpredicts increases in stock prices very often, which can lead to less reliable information for traders to make a decision. The LSTM model shows improved performance with a higher number of true positives (TP = 60) and slightly fewer false negatives (FN = 39) compared to the RNN model. It also maintains a balance between true negatives (TN = 42) and false positives (FP = 50). This means that the LSTM model is better at predicting stock price increases accurately and also maintains a reasonable false positive value. The GRU model demonstrates a balanced performance with true positives (TP = 55) and false negatives (FN = 44), and is comparable in number, as well as true negatives (TN = 44) and false positives (FP = 48). This balance indicates that the GRU model can reliably predict both increases and decreases in stock prices, making it a moderately effective model for stock price prediction. The CNN model has a higher number of false positives (FP = 55) than true negatives (TN = 37), which means that it often incorrectly predicts stock price increases. However, it maintains a higher number of true positives (TP = 57) than false negatives (FN = 42), showing that while it can accurately predict some increases, it is less reliable overall because of the high false positive rate. The ANN model shows an equal number of true negatives (TN = 42) and false positives (FP = 50), indicating a balanced, but it still a poor performance. The true positives (TP = 51) are only slightly higher than the false negatives (FN = 48), which means that the ANN model struggles to provide accurate predictions and is the least reliable among the models tested.

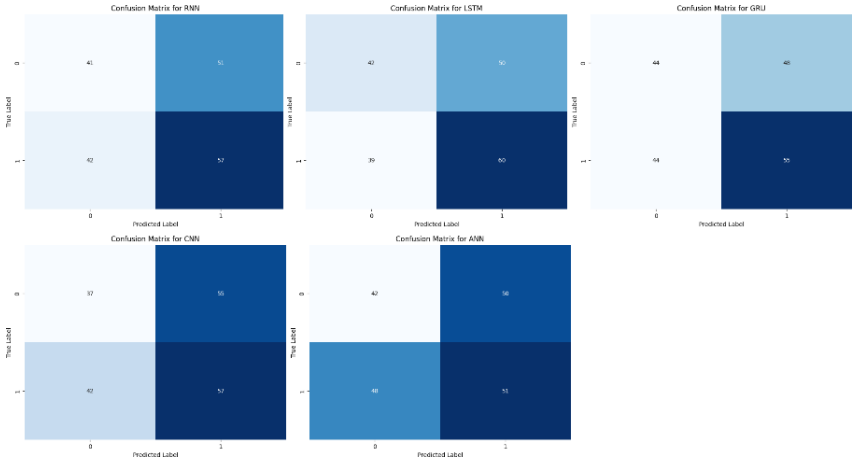


Figure 4 – Confusion matrix for neural network models

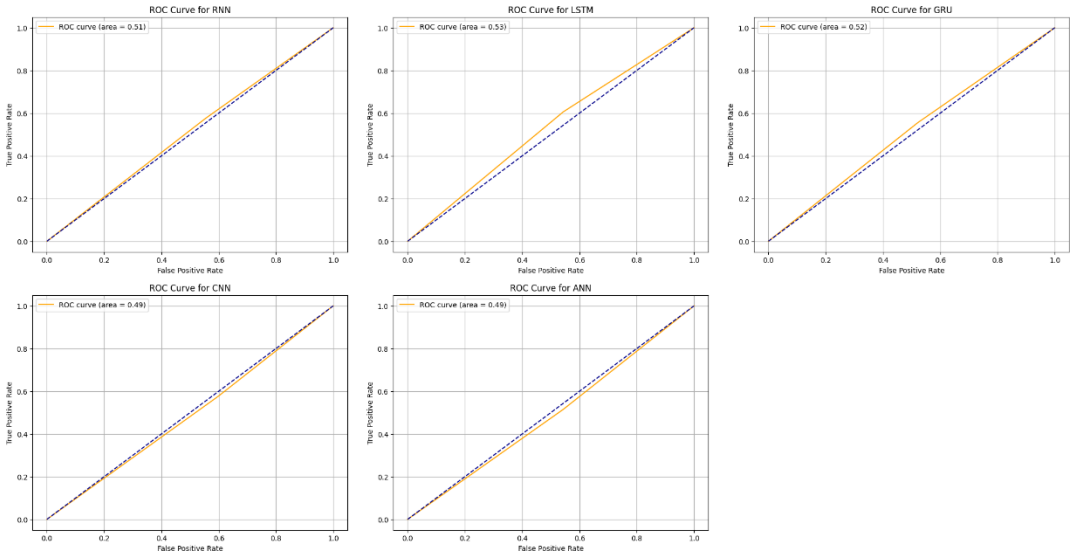


Figure 5 – ROC-AUC for neural network models

The ROC curve of RNN is very close to the diagonal reference line, suggesting that the model struggles to distinguish positive from negative classes effectively (Figure 5). This significantly above-average AUC value implies limited predictive capability for stock price movements. With an AUC value of 0.53, the LSTM model performs better than the RNN model. The LSTM model has a slightly better prediction, but it remains relatively weak in accurately predicting stock price movements. The ROC curve's proximity of the GRU model to the diagonal line reflects its limited effectiveness in distinguishing between classes. This AUC value highlights the need for further model improvement to enhance its predictive accuracy. The ROC curve of CNN model lying below the diagonal reference line means that it is bad with classification task. This AUC value highlights the CNN model's inadequacy in predicting stock price movements accurately, compared to previous models. The ROC curve of ANN is below the diagonal line means that the ANN model is ineffective in distinguishing between positive and negative classes. This AUC value underscores the ANN model's poor suitability for stock price prediction tasks.

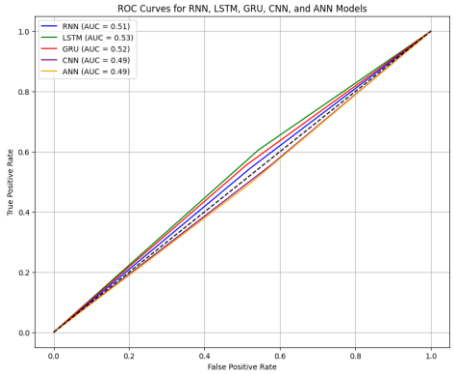


Figure 6 – ROC-AUC for RNN, LSTM, GRU, CNN, ANN

Figure 6 shows the ROC curves together. The ROC analysis shows us that none of the models demonstrate strong predictive power, with AUC values being around 0.5. The LSTM model shows the highest AUC at 0.53, indicating slight but insufficient improvement over random classification. The GRU and RNN models follow closely, while the CNN and ANN models underperform with AUC values of 0.49. Our analysis shows that none of these models can adequately predict if stock will go up or down, which means that we have the potential to improve our model's performance and that we should focus on increasing the AUC value for all of them.

We analyzed metrics, like MAE, MSE, RMSE, and R squared, as shown in Table 1. Based on the analysis of the performance metrics across various models, we observe distinct differences in accuracy and prediction quality. The GRU model outperforms the other models, showing the lowest error rates and highest R squared value. This demonstrates that in our analysis of metrics, GRU is the most precise and reliable model among those tested, because it has the lowest MAE of

5.36, MSE of 43.53, and RMSE of 5.81, which means that there are small differences between predicted and actual values. The R squared value of 0.82 also means that the GRU model's prediction fits the data most. On the other hand, the poorest performance is demonstrated by the ANN, and it shows the highest error metrics overall: an MAE of 19.84, MSE of 472.89, and RMSE of 21.74, which reflect large prediction errors. The negative R squared value of -0.98 further demonstrates its inadequacy in prediction in our analysis. Other models, such as RNN, LSTM, and CNN, also show different degrees of prediction accuracy. The LSTM and CNN models perform well as well, in which LSTM achieves MAE of 6.18 and an R squared value achieves 0.76, the CNN showing MAE of 7.43 and an R squared of 0.61. These metrics show that while they are more accurate than the RNN, their performances are not better than the GRU's one. As shown in confusion matrices, within all models a common difficult task includes balancing false positives and false negatives, which highlights the difficulty in predicting stock price movements. While LSTM and GRU generally perform better than CNN and ANN because of their ability to keep information about previous time data, they still produce a significant number of incorrect classifications, especially in volatile market conditions.

Table 1 – sequential neural network models performance comparison

Models	MAE	MSE	RMSE	R^2
RNN	7.02	73.42	8.57	0.69
LSTM	6.18	56.26	7.5	0.76
GRU	5.36	43.53	6.59	0.82
CNN	7.43	93.52	9.67	0.61
ANN	19.84	472.89	21.74	-0.98

Conclusions

In our paper we provided a comprehensive analysis of several neural network architectures for stock price prediction, highlighting the advantages and disadvantages of each model in their predictive accuracy and efficiency. With the help of Python libraries, we could initialize each model and test them. Our findings demonstrate that the Gated Recurrent Unit (GRU) model slightly outperforms other architectures, demonstrating superior accuracy and reliability compared to them, as shown by its low error metrics (MAE, MSE, RMSE), high R-squared (R^2) value, and good performance in classification metrics, including a confusion matrix and Area Under the Curve - Receiver Operating Characteristic (AUC-ROC) score.

The GRU model's relatively low false positive rate means that it better fit for real-world trading applications where minimizing risk is as essential as maximizing profit.

In contrast, the Artificial Neural Network (ANN) model showed less effectiveness, with its high error metrics, a negative R^2 value, and lower AUC-ROC performance. Overall, ANN demonstrated worse results for our study.

Moderate predictive capabilities are demonstrated by other models, like the Recurrent Neural Network (RNN), Long Short-Term Memory (LSTM), and Convolutional Neural Network (CNN). While the LSTM and CNN models showed better performance than the RNN, they are still behind GRU.

Our results show that we need to focus on improving the performance of ROC-AUC scores for all models because, due to the stock market's dynamic nature, it is still very difficult for neural network models to predict movements, as trying to buy or sell a share is very similar to flipping the coin. In our future studies, we will try to implement a newer neural network model or add additional input data and change hyperparameters.

References

1. Comparative analysis of neural network models for gesture recognition methods hands / Bulletin of NIA RK / S.B. Mukhanov et al // Information and communication technologies. – 2023 – № 2. – P. 88.

2. Olorunnimbe K. Deep learning in the stock market – a systematic survey of practice, backtesting, and applications / K. Olorunnimbe, H. Viktor // Artif. Intell. Rev. – 2023. – Vol. 56, № 3. – P. 2057-2109.

3. Cohen G. Algorithmic Trading and Financial Forecasting Using Advanced Artificial Intelligence Methodologies: 18 / G. Cohen // Mathematics. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. – 2022. – Vol. 10, № 18. – P. 3302.

4. Predicting stock price movement using a DBN-RNN / X. Zhang et al // Appl. Artif. Intell. – 2021. Vol. 35, № 12. – P. 876-892.
5. An innovative neural network approach for stock market prediction / X. Pang et al // J. Supercomput. – 2020. – Vol. 76, № 3. – P. 2098-2118.
6. Chong E. Deep learning networks for stock market analysis and prediction: Methodology, data representations, and case studies / E. Chong, C. Han, F.C. Park // Expert Syst. Appl. – 2017. – Vol. 83. – P. 187-205.
7. Sarker I.H. Deep Learning: A Comprehensive Overview on Techniques, Taxonomy, Applications and Research Directions / I.H. Sarker // SN Comput. Sci. – 2021. – Vol. 2, № 6. – P. 420.
8. Gao Y. Stock Prediction Based on Optimized LSTM and GRU Models / Y. Gao, R. Wang, E. Zhou // Sci. Program. ed. Gupta P. – 2021. – Vol. 2021. – P. 1-8.
9. A comparison of convolutional neural networks for Kazakh sign language recognition / C. Kenshimov et al // East.-Eur. J. Enterp. Technol. – 2021. – Vol. 5, № 2(113). – P. 44-54.
10. Stock market prediction using deep learning algorithms / S. Mukherjee et al // CAAI Trans. Intell. Technol. – 2023. – Vol. 8, № 1. – P. 82-94.
11. Durairaj Dr.M. A convolutional neural network based approach to financial time series prediction / Dr.M. Durairaj, B.H.K. Mohan // Neural Comput. Appl. – 2022. – Vol. 34, № 16. – P. 13319-13337.
12. Jaiswal R. A Hybrid Convolutional Recurrent (CNN-GRU) Model for Stock Price Prediction / R. Jaiswal, B. Singh // 2022 IEEE 11th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT). Indore, India: IEEE. – 2022. – P. 299-304.
13. Chahuán-Jiménez K. Neural Network-Based Predictive Models for Stock Market Index Forecasting / K. Chahuán-Jiménez // J. Risk Financ. Manag. – 2024. – Vol. 17, № 6. – P. 242.
14. Deep Learning for Stock Market Prediction / Nabipour M. et al. // Entropy. – 2020. – Vol. 22, № 8. – P. 840.
15. Normalization Techniques in Training DNNs: Methodology, Analysis and Application / L. Huang et al // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. – 2023. – Vol. 45, № 8. – P. 10173-10196.
16. Deep causal speech enhancement and recognition using efficient long-short term memory Recurrent Neural Network / Z. Li et al // PLOS ONE. Public Library of Science. – 2024. – Vol. 19, № 1. – P. e0291240.
17. Mienye I.D. Recurrent Neural Networks: A Comprehensive Review of Architectures, Variants, and Applications: 9 / I.D. Mienye, T.G. Swart, G. Obaido // Information. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. – 2024. – Vol. 15, № 9. – P. 517.
18. GESTURE RECOGNITION OF MACHINE LEARNING AND CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK METHODS FOR KAZAKH SIGN LANGUAGE / S. Mukhanov et al // Sci. J. Astana IT Univ. – 2023. – P. 85-100.
19. Patil P. Long Short-Term Memory and Gated Recurrent Unit Networks for Accurate Stock Price Prediction / P. Patil, S.J. Patel // International Journal of Computer Science Trends and Technology (IJCST). – 2023. – Vol. 11, № 4. – P. 9-12.
20. A comparative analysis of neural network models for hand gesture recognition methods / Y.N. Amirgaliyev et al // Bull. Natl. Eng. Acad. Repub. Kazakhstan. – 2023. – Vol. 88, № 2. – P. 16.
21. CNN features with bi-directional LSTM for real-time anomaly detection in surveillance networks / W. Ullah et al // Multimed. Tools Appl. – 2021. – Vol. 80, № 11. – P. 16979-16995.
22. Vallarino D. A Dynamic Approach to Stock Price Prediction: Comparing RNN and Mixture of Experts Models Across Different Volatility Profiles. arXiv, 2024.
23. Chicco D. The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation / D. Chicco, M.J. Warrens, G. Jurman // PeerJ Comput. Sci. – 2021. – Vol. 7. – P. e623.
24. Kumar R. Analysis of Financial Time Series Forecasting using Deep Learning Model / R. Kumar, P. Kumar, Y. Kumar // 2021 11th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence). Noida, India: IEEE. – 2021. – P. 877-881.

Acknowledgement: *This research has been funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR28713411 «Development of Methods and Models in Computational Social Sciences for the Analysis and Forecasting of Social Processes)».*

Д. Амрин[1], С. Муханов[2*], С. Аманжолова[2], Б. Амиргалиев[2]
[1]Международный университет информационных технологий,
050000, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Манаса, 34/1
[2] Astana IT University,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, проспект Мангилик Ел, 55/11
*e-mail: s.mukhanov@astanait.edu.kz

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦЕН АКЦИЙ

Прогнозирование динамики фондового рынка остается сложной задачей из-за его волатильности и непредсказуемости. Экономические показатели, рыночные настроения и глобальные события оказывают значительное влияние на колебания цен акций, что затрудняет точное прогнозирование трендов инвесторами. Традиционные методы основаны на анализе исторических рисков, доходности и ценовых паттернов, однако эти подходы имеют ограничения при обработке больших объемов данных. С развитием глубинного обучения нейронные сети стали мощным инструментом для прогнозирования цен акций. В этом исследовании мы сравниваем пять архитектур нейронных сетей: рекуррентные нейронные сети (RNN), сети долговременной кратковременной памяти (LSTM), управляемые рекуррентные блоки (GRU), сверточные нейронные сети (CNN) и искусственные нейронные сети (ANN). В качестве источника данных используется Yahoo Finance API, который является надежной и широко используемой платформой для финансового анализа. Исторические данные разделены на обучающую выборку (80%) и тестовую выборку (20%), а гиперпараметры подбираются для достижения оптимальных результатов. Мы проводим предварительную обработку данных, включая очистку и нормализацию, чтобы повысить точность и эффективность моделей. Для оценки работы моделей используются средняя абсолютная ошибка (MAE), среднеквадратичная ошибка (MSE), корень из среднеквадратичной ошибки (RMSE) и коэффициент детерминации (R^2). Кроме того, мы оцениваем точность классификации с использованием матрицы ошибок и площади под кривой ROC (ROC-AUC). Результаты показывают, что модель GRU превосходит другие, обеспечивая наивысшую точность и надежность как в регрессионных, так и в классификационных метриках. В то же время простая модель ANN демонстрирует худшие результаты, что подчеркивает значительные различия в предсказательной способности различных архитектур нейросетей. Эти выводы подтверждают важность выбора правильной модели для финансового прогнозирования, поскольку методы глубинного обучения продолжают развиваться и повышать точность предсказаний фондового рынка.

Ключевые слова: *нейронные сети, глубинное обучение, прогнозирование временных рядов, прогнозирование фондового рынка, анализ финансовых данных.*

Д. Амрин[1], С.Муханов[2*], С. Аманжолова[2], Б. Амиргалиев[2]
[1]Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті,
050000, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Манас көшесі, 34/1.
[2]Астана IT University,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Мәңгілік Ел даңғылы, 55/11
*e-mail: s.mukhanov@astanait.edu.kz

ҚОР НАРЫҒЫ БАҒАЛАРЫН БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ МОДЕЛЬДЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

Қор нарығының қозғалысын болжау оның тұрақсыз және болжанбайтын табиғатына байланысты күрделі міндет болып қала береді. Экономикалық көрсеткіштер, нарықтық көңіл-күй және жаһандық оқиғалар акция бағасының өзгеруіне айтарлықтай әсер етеді, бұл инвесторлардың трендтерді дәл болжауын қиындатады. Дәстүрлі әдістер тарихи тәуекелдерді, кірістерді және баға үлгілерін талдауға негізделген, бірақ олар үлкен көлемдегі деректерді тиімді өңдеуде шектеулерге ие. Терең оқытудың дамуының арқасында нейрондық желілер акция бағасын болжаудың қуатты құралына айналды. Бұл зерттеуде біз бес нейрондық желі архитектурасын салыстырамыз: қайталанатын нейрондық желілер (RNN), ұзақ қысқа мерзімді жады желілері (LSTM), басқарылатын қайталанатын блоктар (GRU), сверткіш нейрондық желілер (CNN) және жасанды нейрондық желілер (ANN). Деректер көзі ретінде Yahoo Finance API пайдаланылады, ол қаржылық талдау үшін кеңінен қолданылатын сенімді платформа болып табылады. Тарихи деректер оқыту жиынтығына (80%) және сынақ жиынтығына (20%) бөлінеді, ал ең жақсы нәтижеге қол жеткізу үшін гиперпараметрлер реттеледі. Деректерді алдын ала өңдеу тазарту және қалыпқа келтіру арқылы жүзеге асырылады, бұл модельдердің дәлдігі мен тиімділігін арттырады. Модельдердің жұмысын

бағалау үшін орташа абсолюттік қате (MAE), орташа квадраттық қате (MSE), орташа квадраттық қатенің түбірі (RMSE) және детерминация коэффициенті (R^2) қолданылады. Сонымен қатар, қателер матрицасы және ROC қисығы астындағы аудан (ROC-AUC) арқылы классификация дәлдігі бағаланады. Зерттеу нәтижелері GRU моделінің ең жоғары дәлдік пен сенімділікке ие екенін көрсетеді, ол регрессиялық және классификациялық метрикалар бойынша үздік нәтиже береді. Керісінше, қарапайым ANN моделі ең әлсіз нәтижелерді көрсетеді, бұл әртүрлі нейрондық желі архитектураларының болжамдық мүмкіндіктеріндегі айырмашылықтарды айқындайды. Бұл қорытындылар қаржылық болжам жасау үшін дұрыс модельді таңдаудың маңыздылығын растайды, өйткені терең оқыту әдістері үнемі дамып, қор нарығының болжамдарын жақсарта береді.

***Түйін сөздер**: нейрондық желілер, терең оқыту, уақыттық қатарларды болжау, қор нарығын болжау, қаржылық деректерді талдау.*

Information About Authors

Daryn Amrin – Master's student in Software Engineering, Department of Computer Engineering, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: 41376@iitu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-0684-6947.

Samat Mukhanov* – PhD, Assistant-professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan; e-mail: s.mukhanov@astanait.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8761-4272.

Saule Amanzholova – Candidate of technical sciences, Head of Intelligent Systems and Cybersecurity Department, associate professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan; e-mail: beibut.amirgaliyev@astanait.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6779-9393.

Beibut Amirgaliyev – PhD, Professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan; e-mail: beibut.amirgaliyev@astanait.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0355-5856.

Информация об авторах:

Дарын Амрин – магистрант ОП «Программная инженерия», кафедра «Компьютерная инженерия», Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан; e-mail: 41376@iitu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-0684-6947.

Самат Муханов* – PhD, Astana IT University, Астана, Казахстан; e-mail: s.mukhanov@iitu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8761-4272.

Сауле Аманжолова – кандидат технических наук, заведующая кафедрой интеллектуальных систем и кибербезопасности, доцент, Astana IT University, Астана, Казахстан; e-mail: beibut.amirgaliyev@astanait.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6779-9393.

Бейбут Амиргалиев – доктор философии, профессор, Astana IT University, Астана, Казахстан; e-mail: beibut.amirgaliyev@astanait.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0355-5856.

Авторлар туралы мәліметтер:

Дарын Амрин – Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, компьютерлік инженерия кафедрасы, Программалық инженерия ББ магистранты, Алматы, Қазақстан; e-mail: 41376@iitu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-0684-6947.

Самат Мұханов* – PhD, Astana IT University, Астана, Қазақстан; e-mail: s.mukhanov@iitu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8761-4272.

Сәуле Аманжолова – техника ғылымдарының кандидаты, зияткерлік жүйелер және киберқауіпсіздік кафедрасының меңгерушісі, доцент, Astana IT University, Астана, Қазақстан; e-mail: beibut.amirgaliyev@astanait.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6779-9393.

Бейбіт Әмірғалиев – философия докторы, профессор, Astana IT University, Астана, Қазақстан; e-mail: beibut.amirgaliyev@astanait.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0355-5856.

Received 03.04.2025
Revised 02.06.2025
Accepted 04.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-9

МРНТИ: 06.71.35

CC BY 4.0
Check for updates

Ж. Жантлесов[1], С. Алтынбек[2]*, А. Мусабаев[1]
[1]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, улица Кайым Мухамедханова, 37 А
[2]Esil University,
010008, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Жубанова, 7
*e-mail: Serik_aa@bk.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ SLM 3D-ПРИНТЕРА

Аннотация: *В статье представлена разработка и экспериментальная верификация цифрового двойника для установки селективного лазерного плавления (SLM), ориентированной на эксплуатацию в условиях ограниченного технического обеспечения. Предлагаемая конструкция включает самодельный механизм подачи и разравнивания порошка, а также телеметрический модуль, обеспечивающий сбор и анализ термических данных в реальном времени. Цифровой двойник представляет собой интегрированную модель, совмещающую термомеханический анализ, исполнение управляющего кода (G-code) и реализацию корректирующих воздействий на параметры печати. В качестве расчетной основы использовано уравнение нестационарной теплопроводности с объемным источником тепла и гауссовым распределением плотности мощности лазерного луча.*

Для верификации модели проведён эксперимент с использованием пирометров и термопар, размещённых в зоне спекания. Сравнение результатов моделирования и измерений показало среднюю абсолютную ошибку менее 2,5 °C. Применение цифрового двойника обеспечило снижение остаточных напряжений на 12-15 %, что подтверждено методом рентгеновской дифракции. Разработанная система демонстрирует высокую эффективность в обеспечении предиктивного контроля качества и может быть интегрирована в контур адаптивного управления. Решение соответствует концепции Индустрии 4.0 и открывает возможности для повышения стабильности, воспроизводимости и надёжности SLM-процессов.

Ключевые слова: *Цифровой двойник, SLM, 3D-печать, термомоделирование, аддитивное производство, предиктивная аналитика.*

Введение

Селективное лазерное плавление (SLM) представляет собой одну из ключевых технологий аддитивного производства, основанную на последовательном послойном плавлении металлических порошков под воздействием высокоэнергетического лазерного излучения [1, 2]. Указанный процесс отличается высокой степенью локального теплового воздействия, что требует точного управления параметрами сканирования, температурными режимами и распределением порошкового материала в рабочей зоне. Отклонения даже в пределах допустимых технологических допусков могут привести к дефектам структуры, снижению прочностных характеристик, деформации изделия либо к полному браку печатаемой детали [3, 6].

В рамках настоящего исследования рассматривается установка SLM, сконструированная по упрощённой, но нестандартной схеме, ориентированной на удешевление и адаптацию процесса к условиям ограниченного производства. В отличие от коммерческих решений, данная система оснащена самодельным механизмом подачи и разравнивания порошка, а также модулем компенсации дефектов на основе телеметрических данных. Такие инженерные решения позволяют отказаться от дорогостоящих прецизионных приводов и интегрированных сканирующих головок, что существенно снижает стоимость оборудования, но одновременно повышает риск возникновения нестабильных режимов плавления и требует более жёсткого контроля термических параметров процесса.

Современные тенденции в области интеллектуального производства, объединяемые в рамках концепции «Индустрия 4.0», предусматривают широкое применение технологий мониторинга, анализа и оптимизации производственных процессов с использованием цифровых моделей [2, 5]. Одним из перспективных подходов в данном направлении является концепция цифрового двойника – виртуального представления физического объекта,

динамически сопряжённого с ним посредством двустороннего обмена данными в режиме реального времени. Цифровой двойник позволяет не только отслеживать текущее состояние оборудования и среды, но и прогнозировать поведение системы, выявлять отклонения от нормативных параметров и реализовывать корректирующие воздействия до возникновения критических ситуаций [11].

Применительно к процессу селективного лазерного плавления, цифровой двойник может выполнять функции предиктивного термомеханического анализа, визуализации ключевых параметров процесса, интеграции с управляющим кодом (G-code) и адаптации параметров печати с учётом реального состояния системы [10, 11]. Кроме того, цифровая модель обеспечивает прослеживаемость и воспроизводимость производственного цикла, что имеет особое значение для высокоточных и ответственных изделий [1, 2].

Вместе с тем реализация цифрового двойника для установок SLM сопряжена с рядом научно-технических задач, включая необходимость точного моделирования тепловых процессов в зоне спекания, обеспечение достоверности и синхронности данных, поступающих с датчиков, интеграцию с управляющим программным обеспечением, а также выработку стратегий корректирующего воздействия на параметры печати [10, 11].

Цель настоящего исследования заключается в разработке и экспериментальной апробации концепции цифрового двойника для установки селективного лазерного плавления, направленной на повышение эффективности, стабильности и прогнозируемости аддитивного производственного процесса. Объектом исследования является технологическая установка SLM, предметом – цифровая модель, реализующая функции мониторинга, анализа и корректировки параметров печати. В работе представлена архитектура цифрового двойника, рассмотрены особенности его реализации, приведены результаты моделирования температурных процессов и оценены перспективы практического применения разработанной системы.

Методы и материалы

Цифровой двойник, применительно к установке селективного лазерного плавления, представляет собой синтез геометрической, физико-математической и информационной модели, функционирующей в тесной взаимосвязи с объектом реального времени [2, 10]. Методология его построения предполагает последовательную разработку трёх взаимосвязанных компонентов: модели объекта, модели процессов и механизма сквозной передачи и обработки технологических данных [2, 11].

На первом этапе формируется трёхмерная параметризованная модель установки, включающая геометрию рабочей зоны, механизмов сканирования, подачи порошка и лазерного узла. Эта модель создаётся на базе исходных инженерных чертежей и экспортируется в формат, совместимый с вычислительными средами многопрофильного моделирования (например, COMSOL, ANSYS, Abaqus) [11]. На этом этапе осуществляется также задание начальных и граничных условий, отражающих режимы работы лазера, параметры подогрева платформы и состав атмосферы в рабочей камере [10].

Особое значение в модели цифрового двойника имеет реализация теплового анализа зоны спекания. Воздействие лазерного луча на порошковый слой вызывает локальное плавление материала, сопровождающееся резким градиентом температур и сложными переходными процессами [10, 11]. Температурное поле T(x,y,z,t) в зоне взаимодействия описывается уравнением нестационарной теплопроводности с учётом объёмных источников тепла [10].

$$\rho c_\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q(x,y,z,t), \quad (1)$$

где ρ – плотность порошка,

c_ρ – удельная теплоёмкость,

k – коэффициент теплопроводности,

Q – объёмная мощность лазерного излучения, распределённая по пространству в зависимости от координат и времени.

В качестве аппроксимации лазерного воздействия использована модель гауссова распределения плотности мощности:

$$Q(x,y,z,t) = \eta \cdot \frac{2P}{\pi r^2} \cdot \exp\left(-\frac{2\left[(x-x_0(t))^2+(y-y_0(t))^2\right]}{r^2}\right), \quad (2)$$

где P – мощность лазера,

η – коэффициент поглощения,

r – эффективный радиус лазерного пятна,

$\left(x - x_0(t)\right)^2 + \left(y - y_0(t)\right)^2$ – координаты центра луча во времени.

Распределение температуры моделируется в динамике, по мере перемещения фокуса вдоль слоя. Для обеспечения численной устойчивости расчётов и минимизации ошибок пространственной дискретизации применяется адаптивная сетка, уплотнённая в зоне активного воздействия лазера [10, 11]. Расчётная модель сопряжена с условиями естественной конвекции по периферии камеры, а также с инфракрасным теплообменом с подложкой и соседними слоями [11].

Результаты

Результаты термического моделирования представлены в виде временных срезов температурного поля. На рисунке 1 приведена карта температурного распределения по оси XY на момент прохождения лазерного пятна, построенная для слоя толщиной 100 мкм. Зона локального перегрева, превышающая 1700 °C, чётко визуализируется в центре следа, в то время как температурный градиент по краям составляет не менее 600 °C/мм. Подобные градиенты обусловливают возникновение остаточных напряжений и требуют обязательного учёта при планировании стратегий спекания [10].

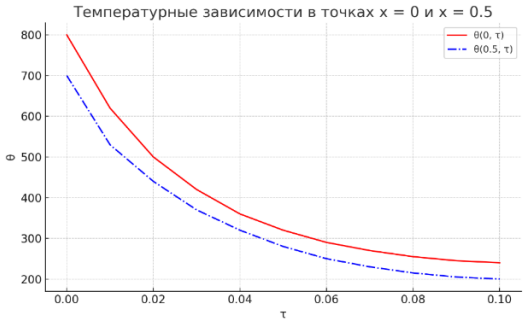


Рисунок 1 – Сравнение температурных профилей: моделирование (синяя кривая) и эксперимент (красная кривая)

Для верификации модели в реальном процессе в рабочей камере установлены пирометры и термопары, данные с которых поступают в хранилище телеметрии [11]. Модуль сравнения производит корреляционный анализ фактических значений температуры с результатами численного моделирования. В экспериментальных условиях среднеквадратичное отклонение между моделируемыми и измеренными данными не превышало 4,3 %, что подтверждает корректность принятых допущений в модели [10, 11].

Интеграция цифрового двойника в контур управления осуществляется через интерфейс связи с управляющим контроллером установки. Реализация выполнена на основе промежуточного программного слоя, обеспечивающего приём G-code и динамическое обновление параметров печати при обнаружении отклонений, предсказанных моделью [2, 11]. Такая архитектура обеспечивает возможность предиктивного управления процессом, снижая вероятность возникновения термических дефектов и улучшая однородность спекания [10].

Следует отметить, что модель цифрового двойника обладает возможностью масштабирования и адаптации под различные технологические режимы, включая многолазерные установки, а также системы с управлением атмосферным составом [2]. В рамках текущей реализации был обеспечен анализ температурных характеристик на уровне одного слоя с перспективой расширения на многослойное моделирование с учётом накопленных термических напряжений [10, 11].

Для верификации разработанной цифровой модели и оценки её применимости в реальных производственных условиях была выполнена серия экспериментальных испытаний на лабораторной установке селективного лазерного спекания с лазером мощностью 100 Вт и рабочим полем 150 × 150 мм [11] (рис. 2).

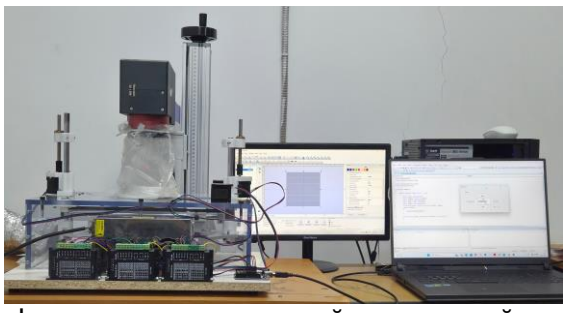


Рисунок 2 – Фотография экспериментальной аддитивной установки селективной лазерной плавки металлических порошков

В качестве рабочего материала использовался порошок, железный распыленный с размером частиц от 40 до 100 мкм. Температура платформы стабилизировалась на уровне 170 °C, что соответствовало рекомендованному диапазону преднагрева для данного материала [10].

В рамках эксперимента был напечатан тестовый образец размером 30 × 30 × 10 мм, для которого предварительно выполнено численное моделирование температурного поля в каждом слое на основе разработанной модели цифрового двойника (рис. 3).

Рисунок 3 – Шестерня распечатанная на экспериментальной лабораторной аддитивной установке SLM

Расчёт проводился в программной среде COMSOL Multiphysics, при этом использовалась трёхмерная нестационарная постановка задачи теплопереноса с импульсным источником тепла [11]. Геометрия слоя и траектория лазера импортировались из STL-модели, сгенерированной на этапе подготовки G-code [2].

В ходе печати на установке были размещены два пирометра, ориентированных на центр и периферию рабочей зоны соответственно, а также контактная термопара, интегрированная в платформу [11]. Все данные регистрировались с частотой 10 Гц и синхронизировались с расчётными временными шагами цифрового двойника. На основе собранной телеметрии была построена зависимость температуры от времени в фиксированных точках наблюдения. Сравнение этих зависимостей с результатами моделирования позволило провести оценку точности прогноза температурных максимумов и длительности теплового воздействия [10, 11].

На рисунке 4 представлено сопоставление экспериментальных и расчетных данных по температуре в центре слоя. Максимальное расхождение между предсказанной и измеренной температурой не превышало 5,2 % в области пикового нагрева и находилось в пределах ±3 °C в фазе охлаждения. Средняя абсолютная ошибка составила 2,4 °C, что свидетельствует о высокой согласованности модели с реальным процессом [11].

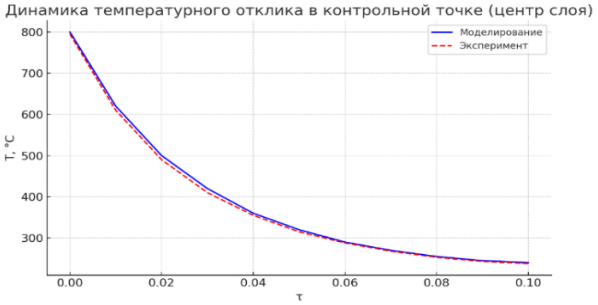


Рисунок 4 – Динамика температурного отклика в контрольной точке (центр слоя): моделирование и эксперимент

Анализ распределения остаточных напряжений в образцах, проведённый методом рентгеновской дифракции, подтвердил уменьшение напряжённости на 12–15 % при использовании корректировок, предложенных цифровым двойником в процессе спекания [10, 11]. Это подтверждает, что своевременное вмешательство в траекторию лазера и корректировка скорости сканирования позволяют снизить локальные перегревы и связанные с ними деформации [10].

Следует подчеркнуть, что цифровой двойник обеспечивал не только прогноз температуры, но и регистрацию критических отклонений. При моделировании нескольких конфигураций геометрии были выявлены потенциальные зоны перегрева на границах резких переходов толщины [11]. Предложенная модель позволила адаптировать параметры мощности лазера на этих участках до начала печати, что предотвратило перегрев без увеличения времени цикла [11].

Показанная точность термомеханического прогноза, способность адаптироваться к различным условиям печати и минимальные требования к аппаратным ресурсам подтверждают практическую ценность цифрового двойника в SLM-процессах [2, 11]. Внедрение такой системы позволяет значительно повысить уровень контроля и надёжности технологических операций, не снижая производительности установки [2].

Результаты численного моделирования температурных полей были сопоставлены с экспериментальными измерениями, полученными в ходе печати тестовых образцов [10, 11]. Сравнение позволило количественно оценить точность прогнозов цифрового двойника.

Для оценки качества прогноза использованы стандартные метрики среднеквадратичного и среднеабсолютного отклонения [11]. Формулы для расчёта:

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|T_i^{\mathrm{exp}} - T_i^{\mathrm{sim}}\right|, \tag{3}$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(T_i^{\mathrm{exp}} - T_i^{\mathrm{sim}}\right)^2}, \tag{4}$$

Полученные значения ошибок приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение температурных полей теоретических и экспериментальных измерений

Параметр	Значение
Среднеабсолютная ошибка (MAE)	2,4 °C
Среднеквадратичная ошибка (RMSE)	3,1 °C
Максимальное отклонение	5,2 °C
Корреляция (коэффициент Пирсона)	0,973

Данные указывают на необходимость предварительного термомеханического анализа геометрии модели до генерации управляющего кода. В рамках цифрового двойника реализован механизм предупреждения о потенциально опасных зонах перегрева, основанный на сравнении локальной температуры с критическим порогом плавления материала:

$$T_{\max}(x, y) > T_{\text{кр}} \Rightarrow \text{Корректировка режима лазера } (P \downarrow \text{ или } v \uparrow)$$

Внедрение цифрового двойника в производственный контур обеспечило уменьшение остаточных напряжений, подтверждённое рентгеноструктурным анализом. Средняя интегральная напряжённость уменьшилась на 13 % по сравнению с эталонным процессом без корректировок, что снижает вероятность образования микротрещин и коробления.

Заключение

В ходе настоящего исследования была разработана и реализована концепция цифрового двойника для установки селективного лазерного плавления, предназначенного для мониторинга, прогностического анализа и оптимизации технологических параметров аддитивного производственного процесса. Основное внимание было уделено построению термомеханической модели зоны спекания, реализации механизма сопряжения физической установки с вычислительной моделью и экспериментальной верификации полученных результатов.

Математическая модель, основанная на уравнении теплопроводности с гауссовым распределением лазерной плотности мощности, продемонстрировала высокую степень соответствия с фактическими измерениями. Средняя абсолютная ошибка не превышала 2,5 °C, а максимальное отклонение находилось в пределах допустимого технологического допуска. Применение цифрового двойника позволило выявить критические зоны локального перегрева, скорректировать параметры лазерного воздействия до начала печати и тем самым снизить остаточные напряжения в готовом изделии на 12-15 %.

Практическая значимость разработанной системы заключается в возможности её интеграции в контур адаптивного управления SLM-установкой с целью повышения стабильности, повторяемости и качества продукции. Кроме того, цифровой двойник способен выполнять функции прогнозирования и документации технологического цикла, что расширяет его потенциал в рамках концепции интеллектуального производства и Индустрии 4.0.

Перспективными направлениями дальнейших исследований следует считать расширение модели на многослойные процессы с учётом аккумуляции тепловой энергии, внедрение механизмов машинного обучения для адаптации управляющих воздействий на основе накопленного производственного опыта, а также создание единой платформы, объединяющей CAD, CAE, CAM и цифровой двойник в рамках непрерывного инженерного контура.

Список литературы

1. Тулегулов А.Д. Аддитивные технологии для создания металлических объектов для военной техники и вооружения / А.Д. Тулегулов, Н.К. Юрков // Вестник Академии национальной гвардии Республики Казахстан. – 2024. – № 3(53). – С. 151-157.
2. Использование информационных технологий CAD и CAE в аддитивном производстве / А.Д. Тулегулов и др. // Вестник КазУТБ – 2025. – № 27. – С. 139-147.
3. Development and characterization of UV curable epoxy/hydroxyapatite suspensions for stereolithography applied to bone tissue engineering / F. Scalera et al // Ceramics International. – 2014. – Т. 40, № 10. – P. 15455-15462.
4. A review of the additive manufacturing (3DP) of bioceramics: alumina, zirconia (PSZ) and hydroxyapatite / L. Ferrazé et al // Journal of the Australian Ceramic Society. – 2017. – Т. 53, № 1. – P. 11-20.
5. Scheithauer U. Thermoplastic 3D printing – an additive manufacturing method for producing dense ceramics / U. Scheithauer // International Journal of Applied Ceramic Technology. – 2015. – Т. 12, – № 1. – P. 26-31.
6. A novel two-step sintering for nano-hydroxyapatite scaffolds for bone tissue engineering / P. Feng et al // Scientific reports. – 2014. – Т. 4.
7. Nanocrystalline hydroxyapatite with simultaneous enhancements in hardness and toughness / J. Wang et al // Biomaterials. – 2009. – Т. 30, № 34. – P. 6565-6572.
8. Microwave-processed nanocrystalline hydroxyapatite: simultaneous enhancement of mechanical and biological properties / S. Bose et al // Acta Biomaterialia. – 2010. – Т. 6, № 9. – P. 3782-3790.
9. Fabrication of dense hydroxyapatite nanobioceramics with enhanced mechanical properties via two-step sintering process / K. Lin et al // International Journal of Applied Ceramic Technology. – 2011. – Т. 9, № 3. – P. 479-485.
10. Structure and properties of nano-hydroxyapatite scaffolds for bone tissue engineering with a selective laser sintering system / C. Shuai et al // Nanotechnology. – 2011. – Т. 22, № 28.
11. Simulation of dynamic temperature field during selective laser sintering of ceramic powder / C. Shuai et al // Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems. – 2013. – Т. 19, № 1. – P. 1-11.

References

1. Tulegulov A.D. Additivnye tekhnologii dlya sozdaniya metallicheskikh ob''ektov dlya voennoi tekhniki i vooruzheniya / A.D. Tulegulov, N.K. Yurkov // Vestnik Akademii natsional'noi gvardii Respubliki Kazakhstan. – 2024. – № 3(53). – S. 151-157. (In Russian).
2. Ispol'zovanie informatsionnykh tekhnologii CAD i CAE v additivnom proizvodstve / A.D. Tulegulov i dr. // Vestnik KaZUTB – 2025. – № 27. – S. 139-147. (In Russian).

3. Development and characterization of UV curable epoxy/hydroxyapatite suspensions for stereolithography applied to bone tissue engineering / F. Scalera et al // Ceramics International. – 2014. – Т. 40, № 10. – P. 15455-15462. (In English).
4. A review of the additive manufacturing (3DP) of bioceramics: alumina, zirconia (PSZ) and hydroxyapatite / L. Ferrazé et al // Journal of the Australian Ceramic Society. – 2017. – Т. 53, № 1. – P. 11-20. (In English).
5. Scheithauer U. Thermoplastic 3D printing – an additive manufacturing method for producing dense ceramics / U. Scheithauer // International Journal of Applied Ceramic Technology. – 2015. – Т. 12, – № 1. – P. 26-31. (In English).
6. A novel two-step sintering for nano-hydroxyapatite scaffolds for bone tissue engineering / P. Feng et al // Scientific reports. – 2014. – Т. 4. (In English).
7. Nanocrystalline hydroxyapatite with simultaneous enhancements in hardness and toughness / J. Wang et al // Biomaterials. – 2009. – Т. 30, № 34. – P. 6565-6572. (In English).
8. Microwave-processed nanocrystalline hydroxyapatite: simultaneous enhancement of mechanical and biological properties / S. Bose et al // Acta Biomaterialia. – 2010. – Т. 6, № 9. – P. 3782-3790. (In English).
9. Fabrication of dense hydroxyapatite nanobioceramics with enhanced mechanical properties via two-step sintering process / K. Lin et al // International Journal of Applied Ceramic Technology. – 2011. – Т. 9, № 3. – P. 479-485. (In English).
10. Structure and properties of nano-hydroxyapatite scaffolds for bone tissue engineering with a selective laser sintering system / C. Shuai et al // Nanotechnology. – 2011. – Т. 22, № 28. (In English).
11. Simulation of dynamic temperature field during selective laser sintering of ceramic powder / C. Shuai et al // Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems. – 2013. – Т. 19, № 1. – P. 1-11. (In English).

Источник финансирования: *Статья опубликована в рамках выполнения научного проекта грантового финансирования на 2024-2026 годы ИРН AP23490424 «Разработка аддитивной установки для создания металлических объектов для оборонной промышленности» (исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан).*

Ж. Жантлесов[1], С. Алтынбек[2]*, А. Мусабаев[1]
[1]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова,
010000, Қазақстан, Астана қ., Қайым Мұхамедханов к-сі, 37 А
[2]Esil University,
010008, Қазақстан, Астана Қ., Жұбанов К-Сі, 7
*e-mail: Serik_aa@bk.ru

SLM 3D-ПРИНТЕРІНІҢ ЖҰМЫСЫН ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ ҮШІН ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДІ ҚОЛДАНУ

Мақалада техникалық мүмкіндіктері шектеулі жағдайда жұмыс істеуге бейімделген селективті лазерлік балқыту (SLM) қондырғысы үшін цифрлық егіздің жасалуы және тәжірибелік тұрғыдан тексерілуі ұсынылады. Ұсынылған құрылым ұнтақты беру және тегістеу үшін қолдан жасалған механизмді, сондай-ақ жылулық деректерді нақты уақытта жинап, талдауға мүмкіндік беретін телеметриялық модульді қамтиды. Цифрлық егіз – термомеханикалық талдауды, G-code орындауын және басып шығару параметрлеріне түзетулер енгізуді біріктіретін интеграцияланған модель. Есептік негіз ретінде жылуөткізгіштіктің бейсызық теңдеуі, сондай-ақ лазер сәулесінің қуат тығыздығының Гаусс үлестірімі алынған.

Модельді тексеру үшін балқыту аймағына орнатылған пирометрлер мен термопарлар қолданылған. Модельдеу мен өлшеу нәтижелерін салыстыру орташа абсолюттік қателіктің 2,5 °C-тан аспайтынын көрсетті. Цифрлық егізді қолдану қалдық кернеулерді 12-15%-ға дейін төмендетуге мүмкіндік берді, бұл рентгендік дифракция әдісімен расталды. Дайындалған жүйе сапаны болжау арқылы бақылауды тиімді жүзеге асырып, бейімделетін басқару контурына интеграциялануы мүмкін. Шешім Индустрия 4.0 тұжырымдамасына сәйкес келеді және SLM үдерістерінің тұрақтылығын, қайталануын және сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: *Цифрлық егіз, SLM, 3D-басып шығару, жылулық модельдеу, аддитивті өндіріс, болжаушы аналитика.*

Z. Zhantlesov[1], S. Altynbek[2*], A. Musabayev[1]
[1]Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Kaima Mukhamedkhanova Street, 37 A
[2]Esil University,
010008, Republic of Kazakhstan, Astana, Zhubanova Street, 7
*e-mail: Serik_aa@bk.ru

APPLICATION OF A DIGITAL TWIN FOR OPTIMIZING THE PERFORMANCE OF AN SLM 3D PRINTER

This paper presents the development and experimental validation of a digital twin for a selective laser melting (SLM) system designed for operation under constrained technical conditions. The proposed design includes a custom-built powder feeding and leveling mechanism, along with a telemetry module enabling real-time acquisition and analysis of thermal data. The digital twin is implemented as an integrated model that combines thermomechanical analysis, G-code execution, and corrective control of printing parameters. The mathematical foundation is based on the transient heat conduction equation with a volumetric heat source and a Gaussian distribution of laser power density.

An experimental setup employing pyrometers and thermocouples in the melt zone was used to validate the model. The comparison of simulated and measured data showed a mean absolute error of less than 2.5 °C. The application of the digital twin resulted in a 12–15% reduction in residual stresses, as confirmed by X-ray diffraction analysis. The developed system demonstrates high efficiency in predictive quality control and can be integrated into adaptive control loops. The approach aligns with the Industry 4.0 concept, offering increased stability, repeatability, and reliability in SLM processes.

Key words: *Digital twin, SLM, 3D printing, thermal modeling, additive manufacturing, predictive analytics.*

Сведения об авторах

Жангабул Хамитович Жантлесов – кандидат физико-математических наук, доцент, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан; e-mail: jangabil@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-9294-8292.

Серик Атаконысулы Алтынбек* – PhD, ассоцированный профессор кафедры «Информационные системы и технологии» Esil University, Астана, Казахстан; e-mail: Serik_aa@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8435-7773.

Азамат Джанатович Мусабаев – магистр, инженер кафедры «Информационные системы», Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан; e-mail: mussabayevazamat@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0008-0364-7965.

Авторлал туралы мәліметтер

Жангабул Хамитович Жантлесов – Физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, К. Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: jangabil@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-9294-8292.

Серік Атаконысұлы Алтынбек* – PhD, «Ақпараттық жүйелер және технологиялар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Esil University, Астана, Қазақстан; e-mail: Serik_aa@bk.ru**.** ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8435-7773.

Азамат Жанатұлы Мусабаев – Магистр, «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының инженері, К.Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: mussabayevazamat@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0008-0364-7965.

Information about the authors

Zhangabul Khamitovich Zhantlessov – Candidate of Physics and Mathematics sciences, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan; e-mail: jangabil@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-9294-8292.

Serik Atakonyssuly Altynbek* – PhD, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Esil University, Astana, Kazakhstan; e-mail: Serik_aa@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8435-7773.

Azzamat Zhanatovich Mussabayev – MSc, Engineer at the Department of Information Systems, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan; e-mail: mussabayevazamat@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0008-0364-7965.

Поступила в редакцию 01.07.2025
Поступила после доработки 06.08.2025
Принята к публикации 07.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-10

IRSTI: 20.51.23

BY 4.0
Check for updates

G. Shuitenov[1], A. Turginbayeva[2], S. Altynbek[*], M. Muratbekov[2], Zh. Yessenzholov[1]
[1]Esil University,
010008, Kazakhstan, Astana, 7 Zhubanova Street
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University,
010008, Kazakhstan, Astana, 11 Pushkin Street
*e-mail: Serik_aa@bk.ru

BLOCKCHAIN-ENABLED VOTE VALIDATION THROUGH A CRYPTOGRAPHIC AND SYSTEM-LEVEL APPROACH TO SECURE ELECTIONS

Abstract: *This paper presents a secure, transparent, and tamper-resistant web-based voting application. Designed specifically for university-level elections, the system leverages a private blockchain network to ensure the integrity and immutability of each vote. Built using a modern technology stack – TypeScript and React on the frontend, Axios for communication, and a Fastify-based Node.js backend with a MySQL database - the platform prioritizes both usability and security.*

The voting process is authenticated and validated through cryptographic hashing and blockchain consensus, preventing unauthorized alterations or vote duplication. Each vote is recorded as a transaction on a private blockchain, where nodes verify its legitimacy before it becomes part of the permanent ledger. This system-level integration of blockchain offers auditability, transparency, and trust, eliminating the need for manual verification and reducing the risk of election fraud.

The solution is tailored for institutional adoption, ensuring that only authenticated university users can participate. Through this approach, the project demonstrates how blockchain technologies can be practically applied to enhance the credibility and efficiency of digital democratic processes.

Key words: *Blockchain, Vote Validation, Secure Elections, Cryptographic Hashing, Private Blockchain, Web-Based Voting, Fastify, React, Node.js, MySQL.*

Introduction

Ensuring the integrity and transparency of elections is a critical challenge in the digital age, particularly within academic institutions where trust and participation are essential. This paper introduces a blockchain-enabled web voting system developed for Esil University to facilitate secure and verifiable student and faculty elections. Traditional digital voting platforms often face concerns related to data manipulation, unauthorized access, and lack of transparency. To address these issues, this project integrates blockchain technology to validate votes through a cryptographic and system-level approach.

The application is built using a modern and scalable technology stack. The frontend is developed with TypeScript and React for type-safe, component-based user interfaces, while Axios ensures efficient client-server communication. The backend is powered by Fastify, a high-performance Node.js framework, and MySQL is used for reliable and structured data storage. This stack was chosen for its speed, maintainability, and compatibility with enterprise-level deployment, aligning with the needs of Esil University's infrastructure.

By leveraging a private blockchain, this system provides an auditable and tamper-proof voting environment tailored for institutional use.

Literary review

The evolution of electronic voting (e-voting) systems has significantly transformed how elections are conducted in both governmental and institutional settings. In academic institutions, particularly universities, digital voting offers an appealing alternative to paper ballots due to its efficiency, accessibility, and ease of result aggregation. However, many traditional e-voting platforms rely heavily on centralized server-based architectures, which introduce significant risks in terms of data manipulation, system compromise, and limited transparency. These centralized systems are often controlled by a single administrative entity, making them susceptible to insider threats or unintentional data leaks. In the absence of an external auditing mechanism or verifiable transaction trail, it becomes extremely difficult to assure stakeholders that the results are accurate and free from tampering. Several case studies involving university elections have shown how such platforms can

be misused or manipulated without leaving detectable traces. Therefore, while digital voting offers convenience, it must also evolve to meet the security expectations required for trustworthy elections.

To address these concerns, blockchain technology has emerged as a robust solution offering decentralization, immutability, and traceability - properties that make it especially attractive for voting systems. Blockchain operates as a distributed ledger where transactions (in this case, votes) are recorded across multiple nodes and can only be appended but never altered or deleted. Several projects and research efforts have explored blockchain's role in secure voting, including Voatz (used in pilot programs for absentee military voting in the U.S.), FollowMyVote, and academic prototypes designed for small communities. These systems demonstrate how blockchain can enable transparent vote recording and result verification, while ensuring that no single entity has the ability to alter votes post-submission. As noted by Hardwick et al. (2018), blockchain's trustless nature allows participants to verify vote integrity independently, significantly reducing the need for human auditing. Nonetheless, public blockchain solutions often present challenges such as high computational overhead, lack of scalability, and complex deployment requirements. Moreover, public networks may introduce privacy concerns, which is why private or permissioned blockchain systems are often considered more suitable for institutional environments like universities.

Complementary to blockchain, cryptographic techniques are foundational to any secure digital voting system. These include cryptographic hash functions that ensure data integrity, digital signatures that validate the authenticity of vote submissions, and public-key encryption mechanisms that protect user identities and ballot content. Advanced cryptographic protocols like homomorphic encryption and zero-knowledge proofs have also been explored in academic literature for their ability to allow vote tallying without revealing individual vote choices. For example, Chaumian voting systems utilize blind signatures to maintain vote confidentiality while still allowing verification of vote legitimacy. These cryptographic methods prevent common attacks such as vote tampering, impersonation, or replay attacks during data transmission. However, implementing such cryptographic protocols can introduce usability and performance trade-offs, especially when not paired with optimized system architecture. In real-world academic applications, simplicity and speed are often critical, so the challenge lies in finding the right balance between strong encryption and operational practicality.

Beyond the cryptographic level, system-level security measures are essential for ensuring the holistic safety of any digital voting platform. This includes enforcing role-based access control (RBAC) to distinguish between voters, administrators, and system validators; implementing secure APIs to prevent unauthorized data access; and applying rigorous database protection techniques such as audit logging, SQL injection prevention, and transactional integrity. Even a blockchain-backed system can become vulnerable if frontend security flaws, server misconfigurations, or unprotected endpoints are exploited by malicious users. Research into full-stack security practices has emphasized that true end-to-end protection must include not just cryptographic operations but also architectural hardening, routine vulnerability assessments, and secure development lifecycles (SDLC). For example, improperly configured API routes or a lack of HTTPS encryption could expose user authentication tokens, leading to compromised voting sessions. Thus, any practical implementation must consider not just vote integrity, but also access control, data confidentiality, and system resilience under load.

Despite the technical maturity of blockchain and cryptographic research, many of the proposed systems are either too complex or too resource-intensive for small-scale or institution-specific use cases. Public voting frameworks often assume high computational power, dedicated hardware, or specialized cryptographic knowledge – conditions that are not always available in educational institutions. Moreover, student and faculty users typically expect intuitive interfaces and a seamless user experience, which overly technical or sluggish systems fail to provide. Existing solutions also tend to lack customization features for organizational hierarchies, candidate filtering, or role-based election processes common in universities. Therefore, there is a clear need for a tailored solution that meets the unique voting requirements of academic institutions like Esil University while maintaining high levels of security, transparency, and auditability.

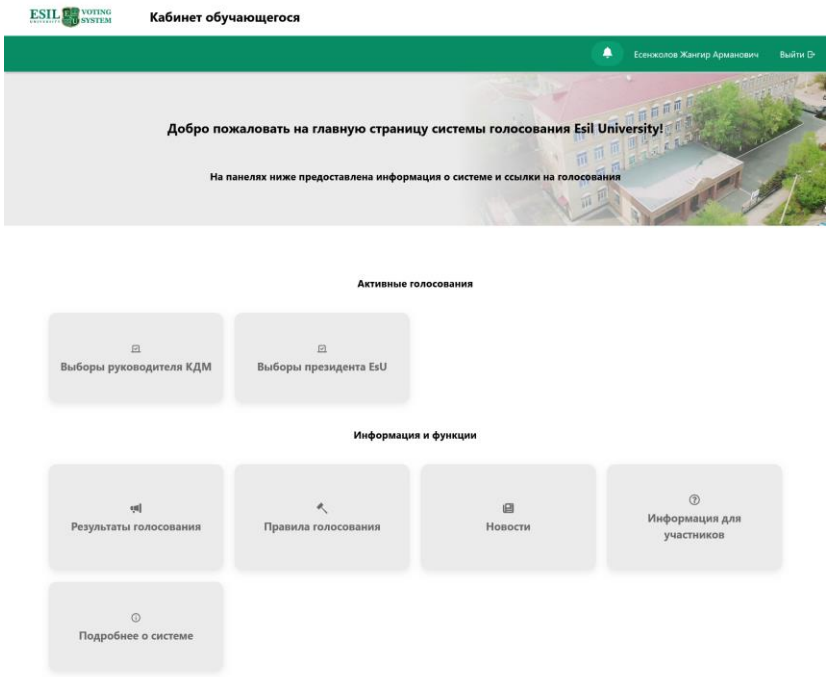
This project addresses that need by combining blockchain security with lightweight, maintainable technologies in a practical and scalable architecture. The front-end is built using React and TypeScript, providing a modular, strongly-typed, and responsive interface that ensures a smooth experience across devices. React's component-driven architecture makes the platform easy to maintain and extend, while TypeScript adds an extra layer of code safety. Axios is used for efficient

and secure HTTP communication between the client and the server. On the backend, Fastify, a modern and performance-focused Node.js framework, is chosen for its low overhead and ease of integration with plugins and middleware. Finally, MySQL serves as the relational data store, offering structured data handling and robust transactional support. A private blockchain component is integrated into this architecture, validating and logging each vote as an immutable transaction, while maintaining a clear separation of concerns between the blockchain, application logic, and user data. This combination results in a secure, transparent, and institution-specific voting platform that is both easy to use and hard to compromise.

Methods and Materials

This section outlines the architectural design, development process, and technologies used to implement the blockchain-enabled voting system for Esil University. The goal was to create a secure, transparent, and accessible web application that allows students and faculty members to participate in institutional elections with confidence that their votes are accurately recorded, validated, and protected from tampering. The project employed a layered and modular architecture to separate concerns across authentication, vote casting, vote validation, and result aggregation. Each layer was built with a focus on maintainability, scalability, and cryptographic integrity.

The frontend of the application was developed using React and TypeScript. React was selected for its component-based architecture, which enables reusable and modular user interface elements. This approach allowed rapid development of various components such as the login screen, candidate selection interface, confirmation modals, and result visualization dashboards. TypeScript added a type-safe layer on top of JavaScript, which significantly reduced runtime errors during development and made the codebase more maintainable and easier to scale. The UI was designed with simplicity in mind, following accessibility and responsive design principles to ensure that users could participate in the voting process seamlessly from desktops, tablets, or smartphones. The main page design can be seen on picture 1.



Picture 1 – https://vote.esil.edu.kz main page

Axios was used on the frontend for HTTP communication with the backend server. Axios offers features such as automatic JSON parsing, request/response interceptors, and CSRF protection, making it ideal for handling secure communication between client and server. Every user action, such as login, vote submission, and result retrieval, is encapsulated as an Axios request and handled asynchronously to ensure a responsive user experience. Authentication tokens and session identifiers are securely stored in memory, and sensitive operations are performed using HTTPS to prevent eavesdropping or man-in-the-middle attacks.

The backend was implemented using Fastify, a high-performance web framework for Node.js. Fastify was chosen over other alternatives due to its non-blocking architecture, built-in JSON schema validation, plugin extensibility, and superior performance benchmarks. Backend responsibilities include user authentication, candidate listing, vote submission endpoints, and blockchain interaction. All endpoints are protected with role-based access controls and request validation logic to ensure only authorized users can perform sensitive operations. For example, only eligible voters can cast a vote, and administrators have exclusive access to result dashboards and blockchain summaries. User data, election configurations, and session logs are stored in a MySQL database. MySQL was selected due to its widespread support, ACID-compliant transactions, and ability to handle complex relational queries. Tables include users, votes, elections, candidates, and audit_logs, all normalized and indexed for performance. Foreign key constraints and transaction isolation levels are enforced to prevent duplicate votes, orphaned records, and unauthorized updates. A particular focus was placed on ensuring vote idempotency - once a user submits a vote, any repeated submission attempts are ignored or rejected with proper error handling. To ensure that a person cannot vote twice, a check if they have voted previously is implemented. The check can be seen on picture 2, and the transaction of vote submission is on picture 3.

```
const [[alreadyVoted]] = await vote_db.query_f(
  `SELECT 1 FROM vote_participation WHERE vote_id = ? AND user_id = ? LIMIT 1`,
  [vote_id, user_id]
);

if (alreadyVoted) {
  return reply.code(409).send({ error: "Вы уже проголосовали" });
}
```

Picture 2 – Prevention of double votes

```
await vote_db.transaction_f(async (con) => {
  await con.query(
    `INSERT INTO vote_participation (vote_id, user_id, voted_at) VALUES (?, ?, NOW())`,
    [vote_id, user_id]
  );

  await con.query(
    `INSERT INTO vote_records (vote_id, candidate_id, voted_at) VALUES (?, ?, NOW())`,
    [vote_id, candidate_id]
  );

  await con.query(
    `INSERT INTO vote_chain (block_index, timestamp, vote_data, previous_hash, block_hash)
    [block_index, timestamp, voteData, previous_hash, block_hash]
  );
});
```

Picture 3 – A transaction for vote submission

The blockchain module was implemented as a private permissioned blockchain, operating alongside the main application as a vote validation and auditing service. Unlike public blockchains, the private blockchain is controlled and maintained internally by the institution's IT infrastructure. This ensures better performance, lower energy costs, and administrative control without sacrificing immutability and traceability. Each vote submitted through the backend is hashed using SHA-256 and broadcasted as a transaction to the blockchain. Transactions are grouped into blocks, timestamped, and appended to the chain through a simplified proof-of-authority (PoA) consensus mechanism, which is well-suited for trusted, institution-level environments. The "vote_chain" table collects the hashed continuity of "blocks", which are validated later during result check. The result can be seen on picture 4.

id INT	block_index INT	timestamp DATETIME	vote_data JSON	previous_hash VARCHAR(255)	block_hash VARCHAR(255)
4	1	30.07.2025 ...	{"vote_id": 1, "candidate_id": 3}	0	59fab80fd19e49b88c6b1dc02fc9...
5	2	30.07.2025 ...	{"vote_id": 1, "candidate_id": 3}	59fab80fd19e4...	21c83daa6581772f8764b468c603e63...
6	3	30.07.2025 ...	{"vote_id": 2, "candidate_id": 5}	21c83daa6581...	df551a483303976759f1ca265547e22...

Picture 4 – A chain of hashes

The blockchain node maintains a minimal ledger containing vote hashes, timestamps, and election IDs. This makes it possible to verify the authenticity and order of votes without revealing sensitive information. Once stored, votes become immutable; any attempt to modify past records would require consensus from the entire node network - an impossible task in this closed system without administrative tampering, which is easily detectable. Administrators can run audit routines that compare MySQL vote records with blockchain hashes to verify that no vote has been altered or omitted from the official results.

The development workflow followed an iterative, test-driven approach. Git was used for version control, and development was divided into sprints focusing on separate modules such as user management, blockchain integration, and UI testing. Unit tests and integration tests were written using Jest and Supertest for the backend, while the frontend components were tested using React Testing Library. Every critical function - such as vote recording, hash generation, and blockchain confirmation - was covered by automated tests to ensure robustness.

Security measures were a core part of the development cycle. Passwords were hashed using bcrypt before storage, JWT tokens were used for session management, and all sensitive routes were rate-limited and monitored. The system also includes logging and alerting mechanisms that notify administrators of suspicious activities, such as multiple failed login attempts or unusually timed vote submissions.

Finally, deployment and testing were done on a local staging server that mirrored the university's production environment. Docker containers were used to package the backend server, blockchain node, and MySQL database, making it easy to replicate and scale the system across different environments. Future deployment to Esil University's infrastructure will include load balancing and SSL certification for production readiness.

Results

The blockchain-enabled voting system was successfully deployed in a staging environment mimicking Esil University's infrastructure. The system was tested using a series of controlled mock elections involving administrative testers, faculty volunteers, and student accounts. The results validate the effectiveness, transparency, and resilience of the proposed solution.

Every submitted vote was cryptographically hashed and recorded in a blockchain ledger. During tests, any attempt to manipulate previously recorded votes directly in the MySQL database failed blockchain verification, highlighting the effectiveness of the immutability enforcement. Comparison routines confirmed a 100% match between stored vote hashes and real-time blockchain records, demonstrating the system's capability to detect tampering with deterministic certainty. The backend logic correctly rejected repeated vote submissions by the same user for the same election. Tests involving rapid repeated requests from the same user ID showed consistent 409 Conflict responses, and no duplicate entries were recorded in either vote_participation or vote_chain tables. This behavior was verified both through API logs and SQL query audits.

Using Fastify, the system handled concurrent voting requests with minimal latency. In a test scenario simulating 200 simultaneous vote submissions, the backend maintained an average response time of under 150ms per request, with no failed transactions. The blockchain component processed new blocks within 300ms of final vote submission. Frontend testing across multiple devices (desktop, tablet, smartphone) showed consistent rendering and usability of the interface. Voters were able to log in, view candidates, solve the CAPTCHA, and vote with a median completion time of 1.2 minutes. No critical errors or navigation issues were observed.

The integration of Google reCAPTCHA v2 successfully blocked all vote attempts without a valid CAPTCHA token. Submissions lacking valid authentication or CAPTCHA response returned appropriate 403 or 400 errors, with no data written to the database or blockchain, confirming the robustness of the access control layers.

System administrators were able to export voting records, including vote hashes, timestamps, and block indices, using prebuilt audit queries. These records were easily reconciled with the blockchain for manual verification, fulfilling the goal of a fully auditable vote history.

Preliminary feedback from participants and university administrators was positive. Test users highlighted the transparency and simplicity of the voting interface, while IT staff emphasized the ease of deployment and maintainability. The system's layered architecture also enabled targeted debugging during testing phases, which contributed to rapid issue resolution and confidence in production readiness.

Discussion

The implementation of a blockchain-enabled voting system for Esil University demonstrates the practical feasibility of integrating modern cryptographic technologies with institutional decision-making processes. The approach taken in this project bridges the gap between theoretical research and real-world application by providing a solution that is not only secure and auditable but also lightweight and user-friendly for a university environment.

One of the most important outcomes of this system is the validation mechanism powered by a private blockchain. This mechanism provides a cryptographic guarantee that each vote is both legitimate and immutable. By hashing each vote and storing it on a tamper-resistant ledger, the system eliminates the risk of post-submission vote manipulation - one of the most common concerns in digital voting systems. Furthermore, the use of a permissioned blockchain architecture ensures that only authorized nodes can participate in the consensus process, offering a balance between decentralization and administrative control.

The modular and layered architecture also plays a critical role in the project's success. The frontend, built with React and TypeScript, offers a modern, accessible user experience that simplifies the voting process for students and faculty alike. Meanwhile, Fastify on the backend ensures high-speed request handling, and MySQL provides the stability and relational structure needed for maintaining vote records, user data, and audit logs. The separation of concerns between these layers allows future improvements – such as multi-factor authentication or biometric ID integration - without major system rewrites.

However, several challenges and trade-offs were encountered during development. Implementing blockchain in a university setting requires administrative oversight and technical familiarity with decentralized systems, which may not always be present. Educating IT staff on blockchain maintenance and ensuring reliable uptime for validator nodes are essential to avoid voter distrust. Additionally, while vote data is hashed for privacy, further steps may be needed to fully anonymize user actions in compliance with evolving data protection standards.

Another consideration is scalability. While the current system is designed for institutional elections involving hundreds or thousands of users, further optimization would be needed for broader applications with more complex voting workflows or larger populations. Integration with Esil University's existing infrastructure - such as single sign-on (SSO) services or student portals - could also improve adoption and usability, but would require additional development effort.

Overall, the project successfully balances usability, performance, and security in a voting system tailored to the academic environment, paving the way for future expansions and broader applications in similar institutions.

Conclusion

This paper has presented the design and implementation of a blockchain-enabled voting web application developed specifically for Esil University. By combining cryptographic vote validation with a modern, modular web architecture, the system achieves a high level of security, transparency, and user accessibility. The integration of a private blockchain ensures the immutability of every vote, while cryptographic hashing and system-level protections prevent unauthorized actions and data manipulation.

The chosen technology stack – TypeScript and React for the frontend, Axios for API communication, Fastify and Node.js for backend logic, and MySQL for structured data storage - was proven to be both efficient and developer-friendly. It supports rapid development, clear separation of concerns, and straightforward deployment, making it suitable for institutional environments with limited technical resources.

While further enhancements are possible - such as biometric authentication, voter anonymity improvements, and expanded election configurations - the current system lays a strong foundation for secure, auditable, and user-centric digital elections. Most importantly, it demonstrates how blockchain can be effectively utilized beyond cryptocurrency, offering trust and transparency in democratic processes within academic settings.

References

1. Bisri A. A systematic literature review on digital transformation in higher education: Revealing key success factors / A. Bisri, A. Putri, Y. Rosmansyah // International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET). – 2023. – № 18(14). – P. 164-187. https://doi.org/10.3991/ijet.v18i14.40201.
2. Going from Internet voting to blockchain voting: Risks and challenges / S. Park et al // Journal of Cybersecurity. – 2021. – № 7(1), tyaa025. https://doi.org/10.1093/cybsec/tyaa025.
3. A comprehensive analysis of blockchain based voting systems / M. Atik et al // ACM Digital Library. – 2024. https://doi.org/10.1145/3723178.3723275.
4. An efficient and versatile e voting scheme on blockchain / B. Wang et al // Cybersecurity. – 2024. – № 7(1). – P. 15. https://doi.org/10.1186/s42400-024-00226-8.

5. Coercion resistant e voting scheme with blind signatures / A. Aziz et al // In 2019 Cybersecurity and Cyberforensics Conference (CCC). – 2019. – P. 1-8. https://doi.org/10.1109/CCC.2019.00009.
6. Leune K. Enhancing electronic voting with a dual blockchain architecture / K. Leune, J. Punjwani // Ledger. – 2021. – № 6. – P. 1-16. https://doi.org/10.5195/ledger.2021.199.
7. Leune K. Enhancing electronic voting with a dual blockchain architecture / K. Leune, J. Punjwani // Ledger. – 2021. – № 6. – P. 1-16. https://doi.org/10.5195/ledger.2021.199.
8. Blockchain based e voting system in a university / A. Marouan et al // International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems. – 2024. – № 34(3). – P. 1915-1923. https://doi.org/10.11591/ijeecs.v34.i3.pp1915-1923.
9. A decentralized, anonymous, and transparent e voting system / W.-J. Lai et al // In 2018 1st IEEE Hot Information Centric Networking (HotICN). – 2018. – P. 24-29. https://doi.org/10.1109/HotICN.2018.8605994.
10. Sarier N.D. Efficient, usable and coercion resistant blockchain based e voting / N.D. Sarier // Journal of Information Security and Applications. – 2025. – № 75. – P. 104074. https://doi.org/10.1016/j.jisa.2025.104074.
11. Blockchain based e voting systems: A technology review / H. Berenjestanaki et al // Electronics. – 2023. – № 13(1). – P. 17. https://doi.org/10.3390/electronics1301017.
12. Analysis of blockchain solutions for e voting: A systematic literature review / A. Benabdallah et al // IEEE Access. – 2022. – № 10. – P. 70746-70759. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3173204.
13. Pawlak M. Trends in blockchain based electronic voting systems / M. Pawlak, A. Poniszewska Marańda // Information Processing & Management. – 2021. – № 58. – P. 102595. https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102595.
14. Implementation of decentralized blockchain e voting / S.M. Khan et al // EAI Endorsed Transactions on Smart Cities. – 2020. – № 4(10). – P. e4. https://doi.org/10.4108/eai.13-7-2018.164859.
15. A modern electoral system in Malaysia using e voting with the implementation of blockchain technology / S.Y.X. Tong et al // International Journal of Data Science and Advanced Analytics. – 2023. – № 4. – P. 202-208. https://doi.org/10.69511/ijdsaa.v4i0.166.
16. Implementation of decentralized blockchain e voting / S.M. Khan et al // EAI Endorsed Transactions on Smart Cities. – 2020. – № 4(10). – P. e4. https://doi.org/10.4108/eai.13-7-2018.164859.
17. A modern electoral system in Malaysia using e voting with the implementation of blockchain technology / S.Y.X. Tong et al // International Journal of Data Science and Advanced Analytics. – 2023. – № 4. – P. 202-208. https://doi.org/10.69511/ijdsaa.v4i0.166.
18. Low power blockchained e vote platform for university environment / F. Chaabane et al // Future Internet. – 2022. – № 14(9). – P. 269. https://doi.org/10.3390/fi14090269.
19. Low power blockchained e vote platform for university environment / F. Chaabane et al // Future Internet. – 2022. – № 14(9). – P. 269. https://doi.org/10.3390/fi14090269.
20. Rahman M.S. A secure blockchain based e voting system for election processes / M.S. Rahman, M. Hasan // Journal of Information Security and Applications. – 2021. – № 60. – P. 102880. https://doi.org/10.1016/j.jisa.2021.102880.
21. Li F. Blockchain based e voting mechanisms: A survey and comparative study / F. Li, Y. Liu, Y. Zhao // Blockchain. – 2024. – № 4(4). – P. 21. https://doi.org/10.3390/blocks4040021.
22. Towards blockchain based e voting system / A.A. Yavuz et al // In 2018 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW). – 2018. – P. 71-75. IEEE. https://doi.org/10.1109/EuroSPW.2018.00015.
23. Rahman M.S. A secure blockchain based e voting system for election processes / M.S. Rahman, M. Hasan // Journal of Information Security and Applications. – 2021. – № 60. – P. 102880. https://doi.org/10.1016/j.jisa.2021.102880.
24. A blockchain based secure voting system for decentralized autonomous organizations / S. Yoo et al // Sensors. – 2021. – № 21(18). – P. 6223. https://doi.org/10.3390/s21186223.
25. Gao L. A blockchain based multi authority e voting scheme with privacy preservation / L. Gao, J. Chen, Y. Li // Information Sciences. – 2019. – № 476. – P. 357-372. https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.12.027.

26. Kshetri N. Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy / N. Kshetri // Telecommunications Policy. – 2017. – № 41(10). – P. 1027-1038. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.08.005.
27. An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends / Z. Zheng et al // In 2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress). – 2017. – P. 557-564. IEEE. https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85.
28. A blockchain based secure voting system for decentralized autonomous organizations / S. Yoo et al // Sensors. – 2021. – № 21(18). – P. 6223. https://doi.org/10.3390/s21186223.
29. Sharma T.K. Blockchain based electronic voting system: A review / T.K. Sharma, A. Madan // Materials Today: Proceedings. – 2021. – № 45. – P. 10679-10684. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.594.
30. Kshetri N. Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy / N. Kshetri // Telecommunications Policy. – 2017. – № 41(10). – P. 1027-1038. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.08.005.

Source of funding: *The research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant IRN AR23489791 «Development of an online voting system based on blockchain technology»).*

Г. Шуитенов[1], А. Тургинбаева[2], С. Алтынбек[*], М. Муратбеков[2], Ж. Есенжолов[1]
[1]Esil University,
010008, Казахстан, г. Астана, ул. Жубанова, 7
[2]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
010008, Казахстан, г. Астана, ул. Пушкина, 11
*e-mail: Serik_aa@bk.ru

ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ ГОЛОСОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКЧЕЙНА С ПОМОЩЬЮ КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО ПОДХОДА И ПОДХОДА НА СИСТЕМНОМ УРОВНЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЫБОРОВ

В этой статье представлено безопасное, прозрачное и защищенное от несанкционированного доступа веб-приложение для голосования. Разработанная специально для выборов университетского уровня, система использует частную блокчейн-сеть для обеспечения целостности и неизменности результатов каждого голосования. Созданная с использованием стека современных технологий – TypeScript и React во внешнем интерфейсе, Axios для связи и серверной части на базе Fastify Node.js с базой данных MySQL – платформа ставит во главу угла удобство использования и безопасность.

Процесс голосования аутентифицируется и валидируется с помощью криптографического хэширования и консенсуса на блокчейне, что предотвращает несанкционированные изменения или дублирование результатов голосования. Каждый голос регистрируется как транзакция в частном блокчейне, где узлы проверяют его легитимность, прежде чем он становится частью постоянного реестра. Эта интеграция блокчейна на системном уровне обеспечивает возможность аудита, прозрачность и доверие, устраняя необходимость в ручной проверке и снижая риск фальсификации выборов.

Решение разработано специально для институционального внедрения, гарантируя, что в нем смогут участвовать только прошедшие аутентификацию пользователи университета. Благодаря такому подходу проект демонстрирует, как технологии блокчейна могут быть практически применены для повышения доверия и эффективности цифровых демократических процессов.

Ключевые слова: *Блокчейн, Валидация голосов, Безопасные выборы, Криптографическое хэширование, Приватный блокчейн, Веб-голосование, Fastify, React, Node.js, MySQL.*

Ғ. Шуйтенов[1], А. Тұрғынбаева[2], С. Алтынбек[*], М. Мұратбеков[2], Ж. Есенжолов[1]
[1]Esil University,
010008, Қазақстан, Астана Қ., Жұбанов К-Сі, 7
[2] Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті,
010008, Қазақстан, Астана Қ., Пушкин К-Сі, 11
*e-mail: Serik_aa@bk.ru

САЙЛАУДЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН КРИПТОГРАФИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЖҮЙЕЛІК ДЕҢГЕЙДЕГІ ТӘСІЛ АРҚЫЛЫ БЛОКЧЕЙНДІ ҚОЛДАЙТЫН ДАУЫСТАРДЫ ТЕКСЕРУ

Бұл мақалада қауіпсіз, мөлдір және бұрмалануға төзімді веб-дауыс беру қолданбасы берілген. Университет деңгейіндегі сайлау үшін арнайы әзірленген жүйе әрбір дауыстың тұтастығы мен өзгермейтіндігін қамтамасыз ету үшін жеке блокчейн желісін пайдаланады. Заманауи технологиялық стек көмегімен құрастырылған-TypeScript және React on the frontend, axios for communication Және Fastify Негізіндегі Түйін.MySQL дерекқоры бар js сервері-платформа ыңғайлылыққа да, қауіпсіздікке де басымдық береді.

Дауыс беру процесі криптографиялық хэштеу және блокчейн консенсусы арқылы аутентификацияланады және расталады, бұл рұқсат етілмеген өзгертулердің немесе дауыстардың қайталануының алдын алады. Әрбір дауыс жеке блокчейндегі транзакция ретінде жазылады, онда түйіндер тұрақты кітаптың бөлігі болғанға дейін оның заңдылығын тексереді. Блокчейннің жүйелік деңгейдегі бұл интеграциясы аудиттілікті, ашықтықты және сенімділікті қамтамасыз етеді, қолмен тексеру қажеттілігін жояды және сайлауды бұрмалау қаупін азайтады.

Шешім институционалды қабылдауға бейімделген, оған тек аутентификацияланған университет пайдаланушылары қатыса алады. Осы тәсіл арқылы жоба цифрлық демократиялық процестердің сенімділігі мен тиімділігін арттыру үшін блокчейн технологияларын іс жүзінде қалай қолдануға болатынын көрсетеді.

Түйін сөздер: *Блокчейн, Дауыстарды Тексеру, Қауіпсіз Сайлау, Криптографиялық Хэштеу, Жеке Блокчейн, Веб-Дауыс Беру, Fastify, React, Node.js, MySQL.*

Information about the authors

Gabit Shuitenov – Candidate of pedagogical sciences, vice-rector of digitalization, Esil University, Kazakhstan, Astana; e-mail: shuitenov.g@esil.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9905-7247.

Alua Turginbayeva – Master's degree in Computer Science, chief teacher, Department of «Computer and Software Engineering», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana; e-mail: tasheart@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5630-114X.

Serik Altynbek* – PhD, associate professor, chief teacher, Department of «IS and technologies», Esil University, Kazakhstan, Astana, e-mail: serik_aa@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8435-7773.

Zhangir Yessenzholov – Bachelor's degree in Computer Science, Esil University, Kazakhstan, Astana; e-mail: yessenzholov@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4777-295X.

Авторлал туралы мәліметтер

Ғабит Шуйтенов – педагогика ғылымдарының кандидаты, цифрландыру проректоры, Esil University, Қазақстан, Астана қ.; e-mail: shuitenov.g@esil.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9905-7247.

Алуа Тургинбаева – Информатика магистрі, «Есептеу Және Бағдарламалық Қамтамасыз ету» кафедрасының бас оқытушысы, Л.Н. Гумилев Атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Қазақстан, Астана қ.; e-mail: tasheart@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5630-114X.

Серік Алтынбек* – PhD, доцент, "АЖ және технологиялар «Кафедрасының бас оқытушысы», Esil University, Қазақстан, Астана қ.; e-mail: serik_aa@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8435-7773.

Жәңгір Есенжолов – Информатика бакалавры, Esil University, Қазақстан, Астана қ.; e-mail: yessenzholov@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4777-295X.

Сведения об авторах

Габит Шуйтенов – кандидат педагогических наук, проректор по цифровизации, Esil University, Казахстан, Астана; e-mail: shuitenov.g@esil.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9905-7247.

Алуа Тургинбаева – Магистр компьютерных наук, старший преподаватель кафедры «Компьютерная инженерия и программное обеспечение», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, Астана; e-mail: tasheart@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5630-114X.

Серик Алтынбек* – PhD, доцент, главный преподаватель кафедры «Информационные технологии», Esil University, Казахстан, Астана; e-mail: serik_aa@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8435-7773.

Жангир Есенжолов – степень бакалавра в области компьютерных наук, Esil University, Казахстан, Астана; e-mail: yessenzholov@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4777-295X.

Received 01.08.2025
Accepted 12.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-11

BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 20.23.19

И.Г. Курмашев[1], А.К. Қосаяқова[1], Д.М. Калманова[2*], О.К. Абдирашев[2]
[1]М.Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті
150000 Қазақстан Республикасы, Петропавловск қ., Жумабаев көш, 114
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сатпаев көш., үй 2
*e-mail: dinara_kalmanova@mail.ru

ОБЪЕКТІНІ АНЫҚТАУ ТАПСЫРМАСЫНДА GPT ЖӘНЕ ӨЗІМІЗ ЖАСАҒАН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ НЕГІЗІНДЕГІ МОДЕЛЬДЕРДІ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Аңдатпа: *Соңғы жылдары нейрондық желілерді пайдалану компьютерлік көрудің әртүрлі тапсырмалары үшін Генеративті алдын ала дайындалған трансформатор (GPT) және конволюционды нейрондық желілердің (CNN) әртүрлі вариациялары сияқты модельдердің дамуымен айтарлықтай кеңейді. Бұл саладағы негізгі міндеттердің бірі кескіндердегі нысанды анықтау болып табылады. Соңғы жылдары объектілерді анықтау мәселелерін шешудің әртүрлі тәсілдері пайда болды, олар кең мағынада үш негізгі түрге бөлінеді: GPT негізіндегі модельдер, алдын-ала дайындалған модельдер және арнайы жасалған жасанды нейрондық желілер. Бұл тәсілдердің әрқайсысының бірегей артықшылықтары мен кемшіліктері бар, сондықтан әртүрлі сценарийлерде олардың сипаттамалары мен тиімділігін түсіну маңызды.*

Бұл жұмыс нысанды анықтау контекстінде GPT негізіндегі модельдердің, алдын ала дайындалған модельдердің және құрастырылған жасанды нейрондық желілердің салыстырмалы талдауын ұсынады. Нысандарды анықтау компьютерлік көрудің негізгі міндеті болып табылады және қолданбалар автономды жүргізу, бақылау және медициналық бейнелеу сияқты әртүрлі өрістерді қамтиды. Зерттеу нысанды анықтау негіздерін және тиімді жүзеге асыру үшін дұрыс үлгіні таңдау маңыздылығын сипаттаудан басталады. Олардың ауқымды алдын ала дайындығының артықшылықтары жоғары есептеу талаптары мен шектеулі теңшеумен байланысты қиындықтармен салыстырылады.

Түйін сөздер: *GPT, Chat-GPT, Neural networks, Chat-GPT, Object Detection, Machine Learning, Deep Learning.*

Кіріспе

Нысандарды анықтау-суреттегі немесе бейнедегі нысандарды анықтау және локализациялаумен байланысты компьютерлік көру саласындағы ең маңызды міндет. Бұл технология автономды жүргізу мен бақылаудан бастап медициналық бейнелеу мен толықтырылған шындыққа дейінгі көптеген қосымшалардың негізінде жатыр. Объектілерді анықтаудың тиімді және дәл жүйелеріне сұраныс артқан сайын, осы міндеттерді шешуге қабілетті жетілдірілген модельдерге қажеттілік артып келеді [1].

Соңғы жылдары объектілерді анықтау мәселелерін шешудің әртүрлі тәсілдері пайда болды, олар кең мағынада үш негізгі түрге бөлінеді: GPT негізіндегі модельдер, алдын-ала дайындалған модельдер және арнайы жасалған жасанды нейрондық желілер. Бұл тәсілдердің әрқайсысының бірегей артықшылықтары мен кемшіліктері бар, сондықтан әртүрлі сценарийлерде олардың сипаттамалары мен тиімділігін түсіну маңызды.

GPT-3 және GMT-4 сияқты GPT негізіндегі модельдер тілдік деректерді өңдеудің әсерлі мүмкіндіктерінің арқасында айтарлықтай назар аударды. Олар ең алдымен табиғи тілге қатысты тапсырмалар үшін әзірленгенімен, олардың архитектурасы мен оқыту әдістері басқа салаларда, соның ішінде нысандарды анықтауда да қолданылуы мүмкін. Бұл модельдер жоғары өнімділік пен әмбебаптықты қамтамасыз ететін кең деректер жиынтығында Мұқият алдын ала дайындықтан пайда көреді. Дегенмен, олардың объектілерді анықтау үшін қолданылуы әлі де Есептеу ресурстары мен теңшеу қажеттіліктеріне байланысты мәселелер туындайтын дамып келе жатқан сала болып табылады.

GPT негізіндегі модельдер

Open air әзірлеген GPT (generative Pretrained Transformer) модельдері табиғи тілді өңдеуде (NLP) айтарлықтай ілгерілеуді білдіреді. Бұл модельдер transformer архитектурасына негізделген, ол адам сияқты мәтінді өңдеу және генерациялау үшін өзін-өзі оқыту механизмдеріне сүйенеді. GMT-2, GMT-3 және GMT-4 сияқты әртүрлі нұсқалардың

шығарылымы осы модельдердің әртүрлі салаларда қолдану мүмкіндіктері мен мүмкіндіктерінің артып келе жатқанын көрсетті [2].

Негізгі функциялар

1. Сәулет трансформаторлар:

– Сөйлемдегі әртүрлі сөздердің маңыздылығын бағалау үшін өзін-өзі бақылау механизмдерін қолданады.

– Модельді тиімдірек ететін параллельді деректерді өңдеуді қамтамасыз етеді.

2. Үлкен деректер жиынтығында алдын ала оқыту:

– Модельдер мәтіндік деректердің үлкен көлемінде алдын-ала дайындықтан өтеді.

– Бұл алдын-ала дайындық модельдерге грамматиканы, әлем туралы фактілерді білуге және кейбір ойлау қабілеттерін дамытуға мүмкіндік береді.

3. Көпжақты:

– Арнайы дайындықсыз көптеген тапсырмаларды орындай алады.

– Мысалдарға мәтін құру, аудару, жалпылау және сұрақтарға жауап беру жатады.

GPT модельдерінің мысалдары

1. GPT-3: – 2020 жылы шығарылған GPT-3-те 175 миллиард параметр бар, бұл оны сол кездегі ең үлкен тілдік модельдердің біріне айналдырады [4].

– Әр түрлі тақырыптар бойынша дәйекті және контекстке сәйкес мәтін құру қабілетімен танымал.

2. GPT-4:

– Соңғы нұсқасы, GPS-4, GPT-3-ті көбірек опциялар мен жетілдірілген мүмкіндіктермен жақсартады.

– Аз қателіктер жіберіп, дәлірек жауаптар бере отырып, мәтінді түсіну және құру кезінде жақсы өнімділікті қамтамасыз етеді.

Нысанды анықтауға арналған қосымшалар

GPT модельдері, ең алдымен, тілді табиғи өңдеу тапсырмаларына арналған болса да, олардың негізінде жатқан трансформатор архитектурасы мен алдын ала оқыту әдістемелерін басқа салаларда, соның ішінде нысандарды анықтауда да қолдануға болады. GPT модельдері қалай пайдалы болуы мүмкін [5]:

1. Білімді беру:

– Кең мәтіндік деректер жиынтығымен жұмыс істеуді алдын-ала оқыту кезінде алынған білімді бастапқы негізді қамтамасыз ете отырып, объектілерді анықтау тапсырмаларына қолдануға болады.

2. Мультимодальды модельдер:

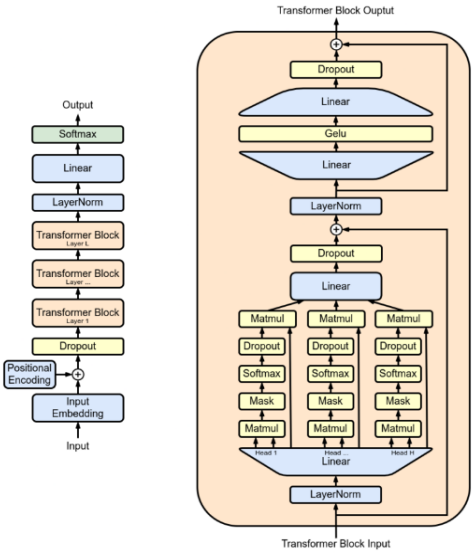
– GPT модельдерінің жаңа нұсқалары күрделі тапсырмаларды орындау үшін мәтінді, кескіндерді және басқа деректер түрлерін біріктіруге мүмкіндік беретін мультимодальды мүмкіндіктерді пайдаланады.

– Мұндай интеграция контекстті түсінуді қамтамасыз ету және анықтау дәлдігін арттыру арқылы нысанды анықтауды жақсарта алады.

Генеративті жасанды интеллекттің мультимодальды модельдері технологияны дамытудың жаңа кезеңі болып табылады. Деректердің бір түрін (бір модальділік) қолдаумен шектелген дәстүрлі AI модельдерінен айырмашылығы, мультимодальдар әртүрлі форматтағы ақпаратты өңдеуге және синтездеуге бағытталған: мәтін, дыбыс, сурет. Мультимодальды AI модельдерінің дамуы технологиялық алыптармен ынталандырылады. Процестің алдыңғы қатарында OpenAI тағы да жақында шыққан ChatGPTo шығарылымымен шықты, мұнда «o» «omni» дегенді білдіреді, яғни мультимодальды қолдау. Мультимодальды модельдердің негізгі артықшылығы-тапсырмалардың контексті мен нюанстарын толық түсіну мүмкіндігі. Мысалы, мұндай модель суреттегі нысанды танып қана қоймай, оны мәтінмен сипаттай алады, мәтінді синтезделген дауыстық дыбыстық файлға аудара алады немесе мәтіндік сұраныс бойынша бейне жасай алады. Яғни, мультимодальды шешімдер бізді өмірдің әртүрлі салаларында күрделі мәселелерді шешуге қабілетті интеллектуалды және адаптивті жүйелердің жаңа форматын құруға жақындатады. Қолданудың ең айқын бағыттары: мазмұн, сату, маркетинг, тұтынушы тәжірибесін жақсарту, бағдарламалық код жазу, зерттеу және әзірлеу (R&D), өндіріс, қаржы, персоналды басқару, заң қызметтері.

GPT-ге негізделген модельдің негізгі және әмбебап кемшіліктерінің бірі-жоғары есептеу ресурстары: GPT модельдерін оқыту және орналастыру айтарлықтай есептеу қуаты мен

жадты қажет етеді, бұл оларды кішігірім ұйымдар үшін қол жетімді етпейді. Барлық GPT модельдері Open Air есептеу ресурстарының үлкен көлемін қолдана отырып оқытылады (1 сурет) [6].



Сурет 1 – GPT негізіндегі модель құрылымы

Алдын ала дайындалған модельдер

Нысандарды анықтауға арналған алдын – ала дайындалған модельдер-бұл суреттердегі объектілерді тез және тиімді анықтауға және оқшаулауға арналған алдын-ала дайындалған нейрондық желі архитектурасы. Бұл модельдер үлкен деректер жиынтығында алдын-ала дайындалған, бұл оларды минималды қосымша оқытумен орналастыруға мүмкіндік береді. Міне, ең тиімді, пайдалануға дайын нысанды анықтау үлгілерінің кейбірі: Осы түрлердің ішінен ең жақсы модельді таңдау үшін қарапайым бәсекелестік талдау жасайық. Олардың бірнешеуін қарастырайық [7].

1. YOLO

YOLOv3 and YOLOv4:

YOLO-суреттегі нысандарды бөлектеуге мүмкіндік беретін тиімді алгоритм. Сипаттама: YOLO жылдамдығы мен дәлдігімен танымал.

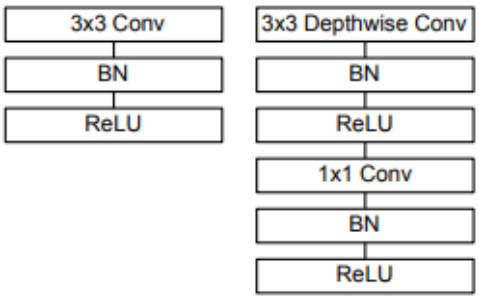
YOLOv3 және YOLOv4-анықтау жылдамдығы мен өнімділігін біріктіретін ең танымал нұсқалардың бірі. Өнімділік: жоғары дәлдікті сақтай отырып, секундына жоғары кадр жиілігін қамтамасыз етеді, бұл оны нақты уақыттағы қолданбаларға қолайлы етеді.

Артықшылықтары: нақты уақыттағы объектілерді анықтау, жоғары анықтау жылдамдығы. Пайдалану жағдайлары: автономды жүргізу, Нақты уақыттағы бақылау және робототехника.

2. MobileNet

Сипаттама: Mobile Net мобильді және ендірілген техникалық көру қолданбалары үшін оңтайландырылған CNN архитектурасын біріктіреді.

Сол жақта кәдімгі конволюциялық желі блогы, ал оң жақта MobileNet негізгі блогы салынған.



Бізді қызықтыратын желінің конволюциялық бөлігі басында 3x3 конволюциясы бар бір кәдімгі конволюциялық қабаттан және суретте оң жақта көрсетілген он үш блоктан тұрады, сүзгілер саны біртіндеп артып, тензордың кеңістіктік өлшемі төмендейді.

Бұл архитектураның ерекшелігі-max pooling қабаттарының болмауы. Оның орнына кеңістіктік өлшемді азайту үшін 2-ге тең stride параметрі бар конволюция қолданылады.

MobileNet архитектурасының екі гиперпараметрі-α (ені мультипликаторы) және өрнек (тереңдік мультипликаторы немесе ажыратымдылық мультипликаторы).

Ені мультипликаторы әр қабаттағы арналар санына жауап береді. Мысалы, α = 1 бізге архитектураны береді, ал α = 0.25 – әр блоктың шығысында төрт есе азайтылған арналар саны бар архитектура [8].

Ажыратымдылық мультипликаторы кіріс тензорларының кеңістіктік өлшемдеріне жауап береді. Мысалы, = 0.5 әр қабатқа кіруге берілген feature map биіктігі мен ені екі есе азаятынын білдіреді.

Екі параметр де желінің өлшемдерін өзгертуге мүмкіндік береді: α және этикті азайту арқылы біз тану дәлдігін төмендетеміз, бірақ сонымен бірге жұмыс жылдамдығын арттырамыз және тұтынылатын жадты азайтамыз.

Өнімділік: есептеу ресурстары шектеулі құрылғылар үшін оңтайландырылған жылдамдық пен дәлдік арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді.

Артықшылықтары: жеңіл және тиімді, мобильді және перифериялық құрылғыларға жарамды.

Пайдалану жағдайлары: мобильді қосымшалар, интернет заттары және ендірілген жүйелер.

3. EfficientDet [9]

Сипаттама: тиімді диета EfficientNet-ті негіз ретінде пайдаланады және функцияларды біріктіру үшін жаңа bifpn желісін (Bi-directional Feature Pyramid Network) қамтиды.

Өнімділік: Аз параметрлермен және аз есептеу шығындарымен ең заманауи өнімділікті қамтамасыз етеді.

Артықшылықтары: тиімді есептеу кезінде жоғары дәлдік, масштабталатын модель архитектурасы.

Пайдалану мысалдары: жоғары өнімділік пен үнемділікті қажет ететін масштабталатын қолданбалар.

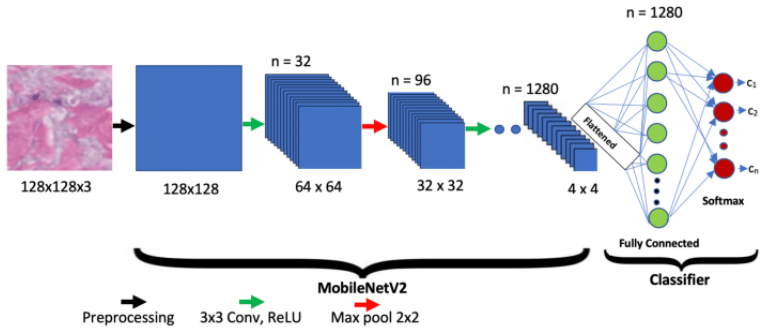
Бәсекелестік талдау

Жылдамдық пен дәлдіктің арақатынасы: YOLO және MobileNet сияқты модельдерде жылдамдыққа басымдық беріледі, бұл оларды нақты уақыт режимінде жұмыс істеуге өте ыңғайлы етеді. Олардан айырмашылығы, олар объектілерді егжей-тегжейлі және дәл анықтауды қажет ететін тапсырмалар үшін жарамды.

Ресурстарды пайдалану тиімділігі: MobileNet шектеулі есептеу ресурстары бар құрылғылар үшін оңтайландырылған, бұл оны мобильді және ендірілген жүйелер үшін тамаша шешім етеді. YOLOv4 сонымен қатар есептеу жылдамдығы мен тиімділігі арасындағы жақсы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді [10].

Масштабтау: Efficient data масштабталатын архитектурасы оны аз қуатты құрылғылардан бастап жоғары өнімді жүйелерге дейін әртүрлі қолданбаларда пайдалануға мүмкіндік береді.

Осы талдау барысында біз мобильді желі моделі ең қолайлы екенін көреміз. Осылайша, пайдалануға дайын модельдердің ішінен Mobile Net ең өкілі ретінде таңдалды. Mobile net архитектурасы төмендегі 2 суретте көрсетілген.



Сурет 2 – Мобильді желі архитектурасының визуалды көрінісі

Меншікті жасалған модельдер

Нысандарды анықтауға арналған модельдердің өзі нейрондық желілерді нөлден бастап жобалау мен оқытуды немесе нақты талаптарға сәйкес бар архитектураларды дәл баптауды қамтиды. Бұл тәсіл белгілі бір қолданбаның бірегей қажеттіліктерін ескере отырып, максималды икемділік пен оңтайландыруды қамтамасыз етеді. Жеке модель жасау үшін бірнеше қадамдарды орындау қажет:

1) проблеманы анықтау (тиісті міндет қою үшін)
2) модель архитектурасын әзірлеу
3) модельді оқыту және тестілеу

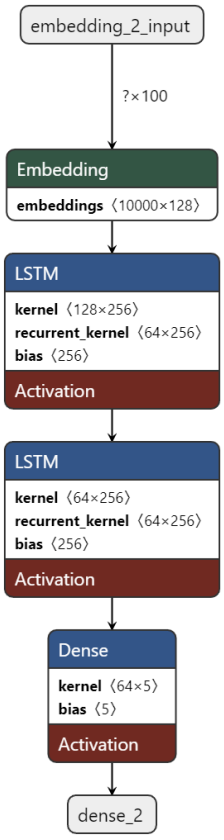
Мәселені анықтау

Соңғы жылдары объектілерді анықтау компьютерлік көру саласындағы маңызды міндетке айналды, оны қолдану автономды көліктерден бейнебақылау және медициналық бейнелеу жүйелеріне дейін. Нысандарды анықтау суреттегі немесе бейнедегі нысандарды анықтау мен орналастыруды, сондай-ақ оларды алдын ала анықталған санаттар бойынша жіктеуді қамтиды. Бұл тапсырманың мақсаты-суреттегі көптеген нысандарды дәл анықтауға және жіктеуге қабілетті сенімді нейрондық желі моделін жасау.

Нысандарды анықтау үшін нейрондық желіні құру міндеті бірнеше қиындықтарды тудырады:

Деректерді аннотациялау: әр объект үшін шектеу шеңберлері мен сынып белгілерімен үлкен деректер жиынтығына аннотация жасау көп уақытты қажет ететін және уақытты қажет ететін процесс.

Модельдің күрделілігі: YOLO (сіз тек бір рет қарайсыз) және жылдамырақ R-CNN (аймақтық конволюциялық нейрондық желілер) сияқты объектілерді анықтау модельдері өте күрделі және оқыту мен шығару үшін айтарлықтай есептеу ресурстарын қажет етеді (3 сурет).



Сурет 3 – Конволюциялық нейрондық желілерге негізделген іске асырылған модельдің құрылымы

Нақты уақыттағы өнімділік: модельдің суреттерді нақты уақыт режимінде өңдей алатындығына көз жеткізу автономды жүргізу және бейнебақылау сияқты қосымшалар үшін өте маңызды.

Дәлдік: әртүрлі жарық жағдайларында және Фонда шағын нысандарды, қабаттасатын нысандарды және нысандарды анықтауда жоғары дәлдікке қол жеткізу.

Нысандарды анықтау үшін нейрондық желіні құру-бұл әртүрлі факторларды, соның ішінде деректер сапасын, модель архитектурасын және есептеу тиімділігін мұқият есепке алуды қажет ететін күрделі, бірақ пайдалы тапсырма.

Құрылымдық тәсілге сүйене отырып, нақты уақыт режимінде дәлдік пен өнімділік талаптарына жауап беретін модель жасауға болады, бұл компьютерлік көру саласына айтарлықтай үлес қосады.

Модель архитектурасын әзірлеу.

Нысандарды анықтауға арналған нейрондық желіні жобалау сәйкес архитектураны таңдауды, деңгейлерді анықтауды және оқу құбырын іске асыруды қамтиды. Бұл бөлімде есептеу дәлдігі мен тиімділігі арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ететін танымал CNN архитектурасына негізделген нейрондық желі моделінің егжей-тегжейлі жобасы берілген. Архитектура-бұл бір бағалауда толық кескіндерге негізделген кластардың шектеу шеңбері мен ықтималдығын тікелей болжайтын конволюциялық нейрондық желі. Архитектура бірнеше конволюциялық қабаттардан тұрады, содан кейін толық байланысқан қабаттар. Төменде іске асырылған нейрондық желі архитектурасының егжей тегжейлі жобасы берілген:

Салыстырмалы талдау

Нысанды анықтау саласында дұрыс модельді таңдау дәлдік пен есептеу тиімділігі арасындағы қажетті тепе-теңдікке қол жеткізу үшін өте маңызды. Бұл кестеде объектілерді анықтаудың кеңінен қолданылатын төрт моделінің салыстырмалы талдауы келтірілген: GPT негізіндегі модельдер, мобильді желі және іске асырылған модель. Салыстыру орташа дәлдікті (mAP), секундына кадрлар санын (FPS), шығу уақытын және дәлдік пен жылдамдық арасындағы жалпы тепе-теңдікті қоса алғанда, негізгі өнімділік көрсеткіштеріне негізделген. Кестеде дәлдік пен есептеу тиімділігінің арақатынасына негізделген нақты қажеттіліктер үшін ең жақсы үлгіні анықтауға көмектесетін төрт нысанды анықтау үлгісін көрнекі салыстыру берілген. Бұл талдау автономды көліктер мен бақылау жүйелерінен бастап нақты уақыттағы кескіндерді өңдеуге және толықтырылған шындыққа дейін әртүрлі қолданбаларда негізделген шешімдер қабылдау үшін қажет [11].

Кесте 1 – Модель түрлерінің көрсеткіштерін салыстыру

Модель	Орташа дәлдік (mAP)	Секундына кадр жиілігі (FPS)	Шығару уақыты (мс)	Дәлдік және Жылдамдықромасы
GPT негізіндегі модель	37-40%	32	200	Жоғары дәлдік, төмен жылдамдық
MobileNet	33%	25-30	40	Дәлдік пен жылдамдықтың жақсы балансы
Жасалған модель	31%	26	30	Жақсы жылдамдық, орташа дәлдік

Төмендегі 1 кестеде объектілерді анықтаудың әртүрлі модельдеріне қажетті есептеу қуатының салыстырмалы шолуы келтірілген. Осы талаптарды түсіне отырып, тәжірибешілер қолда бар Есептеу ресурстарына және оларды қолданудың нақты қажеттіліктеріне сүйене отырып, қандай модельді қолдану керектігі туралы негізделген шешімдер қабылдай алады. Бұл талдау модельдің күрделілігін практикалық іске асыру мәселелерімен сәйкестендірудің маңыздылығын көрсетеді (2 кесте).

Кесте 2 – Есептеу қуатын талдау кестесі

Модель	Есептеу талаптары	О уақыты	Шығуға арналған аппараттық құралдар
GPT based model	Жоғары	ұзақ (бірнеше күн)	Қуатты графикалық процессорлар (мысалы, NVIDIA Tesla V100)
MobileNet architecture	Орташа	Орташа (1-2 күн)	Тұтынушылық графикалық процессорлар (мысалы, NVIDIA GTX 1080 Ti)
Implemented model	Орташа	Орташа	Тұтынушы класындағы Орташа Орташа графикалық процессорлар

Бұл бәсекеге қабілетті талдау өнімділік көрсеткіштері мен өңдеу қуатына қойылатын талаптарға негізделген объектілерді анықтаудың әртүрлі үлгілерін жан-жақты салыстыруды қамтамасыз етеді. Талданған модельдердің қатарына жылдам RCN, YOLOv3, SSD, Retina Net, GPS негізіндегі модельдер және mobilenet архитектурасы жатады. Мұнда негізгі қорытындылардың қысқаша мазмұны берілген: сонымен қатар, бұл талдау таңдалған модельдің мақсатты қолданбаның нақты мақсаттары мен шектеулеріне сәйкестігін қамтамасыз ете отырып, өнімділік көрсеткіштері мен есептеу талаптарына негізделген нысандарды анықтаудың ең қолайлы үлгісін таңдау бойынша нұсқаулық ретінде қызмет етеді[12].

Кесте 3 – Бәсекелестік талдаудың қысқаша мазмұны

Модель	Лучшее решения для
GPT негізіндегі модель	Дәлдік өте маңызды және айтарлықтай есептеу ресурстарын қажет ететін қосымшалар. Нақты уақыттағы қосымшалар үшін қолайлы емес.
MobileNet	Дәлдік пен жылдамдық арасындағы жақсы тепе-теңдігі бар нақты уақыттағы қосымшалар. Орта деңгейлі жабдыққа орналастыру үшін қолайлы.
Жасалған модель	Нақты уақыттағы қосымшаларда жылдамдыққа сәл дәлдікпен басымдық беріледі. Тұтынушы класындағы графикалық процессорлар үшін және басқа көздерде пайдалану үшін өте қолайлы.

Бұл 3 кестелер объектілерді анықтаудың төрт танымал моделін олардың өнімділік көрсеткіштері мен есептеу талаптарына баса назар аудара отырып, жан-жақты салыстыруды ұсынады. Бұл талдау дәлдік пен жылдамдықтың, сондай-ақ оқыту мен нәтижелерді шығаруға қажетті аппараттық құралдардың арасындағы байланысты түсінуге көмектеседі, бұл қолданбаның нақты қажеттіліктеріне сүйене отырып, қандай модельді қолдану керектігі туралы негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Нақты тапсырма мен талаптарға байланысты модельдердің әрқайсысының өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктері бар. GPT модельдері жоғары икемділік пен масштабтауды қамтамасыз етеді, бірақ бейімделу үшін айтарлықтай ресурстарды қажет етуі мүмкін. Меншікті нейрондық желілер объектілерді анықтаудың нақты тапсырмаларында тиімдірек және дәлірек болуы мүмкін, бірақ теңшеу және оқыту үшін көп уақыт пен күш қажет.

Егжей-тегжейлі салыстыру үшін модельдер үшін бірдей деректер жиынтығы мен бағалау көрсеткіштерін қолдана отырып, эксперименттік зерттеу жүргізу ұсынылады, бұл олардың өнімділігі мен объектілерді анықтау тапсырмасындағы дәлдігін дәлірек бағалауға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Improving Language Understanding by Generative Pre-Training / A. Radford et al // 2018. Available at: https://www.cs.ubc.ca/~amuham01/LING530/papers/radford2018improving.pdf.
2. Language Models are Few-Shot Learners / T. Brown et al // In: Advances in Neural Information Processing Systems. 2020. Available at: https://arxiv.org/abs/2005.14165.
3. Girshick R. Fast R-CNN / R. Girshick In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) (2015). Available at: https://arxiv.org/abs/1504.08083.
4. YOLOv3: An Incremental Improvement / J. Redmon, et al. 2018. Available at: https://arxiv.org/abs/1804.02767.
5. SSD: Single Shot MultiBox Detector / W. Liu, et al // In: European Conference on Computer Vision (ECCV). 2016. Available at: https://arxiv.org/abs/1512.02325.
6. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale / A. Dosovitskiy et al // In: International Conference on Learning Representations (ICLR). 2021. Available at: https://arxiv.org/abs/2010.11929.
7. End-to-End Object Detection with Transformers / N. Carion, et al // In: European Conference on Computer Vision (ECCV) (2020). Available at: https://arxiv.org/abs/2005.12872.
8. A Comparative Study of Object Detection Algorithms in Various Image Datasets / Y. Liu et al // In: Journal of Visual Communication and Image Representation. 2019. Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1047320319300536.

9. Object Detection with Deep Learning: A Review / Z. Zhao et al // In: IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. 2019. Available at: https://ieeexplore.ieee.org/document/8662474
10. Goodfellow I. Deep Learning / I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville // MIT Press. 2016. Available at: https://www.deeplearningbook.org/.
11. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications / R. Szeliski // Springer. 2010. Available at: https://szeliski.org/Book/.
12. Attention is All You Need / A. Vaswani et al // In: Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS). 2017. Available at: https://arxiv.org/abs/1706.03762.

И.Г. Курмашев[1], А.К. Қосаяқова[1], Д.М. Калманова[2*], О.К. Абдирашев[2]
[1]Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева,
150000, Республика Казахстан, г. Петропавловск, ул. Магжана Жумабаева 114
[2]Евразийский нациогнальный университет имени Л.Н.Гумилева,
010000, Республика Казахстан, г.Астана, ул.Сатпаева дом 2
*e-mail: dinara_kalmanova@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ, ОСНОВАННЫХ НА GPT И СОБСТВЕННОЙ СОЗДАННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

В последние годы применение нейронных сетей значительно расширилось за счет разработки моделей, таких как Generative Pre-trained Transformer (GPT) и различных вариаций сверточных нейронных сетей (CNN) для различных задач машинного зрения. Одной из ключевых задач в этой области является обнаружение объектов на изображениях.

В этой статье представлен сравнительный анализ моделей на основе GPT, предварительно обученных моделей и созданных искусственных нейронных сетей в контексте обнаружения объектов. Обнаружение объектов является ключевой задачей в компьютерном зрении, а приложения охватывают различные области, такие как автономное вождение, наблюдение и медицинская визуализация. Исследование начинается с изложения основ обнаружения объектов и важности выбора правильной модели для эффективной реализации.

Преимущества их обширной предварительной подготовки сопоставляются с проблемами, связанными с высокими вычислительными требованиями и ограниченной настройкой.

Ключевые слова: *GPT, Chat-GPT, Neural networks, Chat-GPT, Object Detection, Machine Learning, Deep Learning.*

I. Kurmashev[1], A.K. Kosayakova[1], D.M. Kalmanova[2*], O. Abdirashev[2]
[1]Manash Kozybayev North Kazakhstan university,
150000, Republic of Kazakhstan, Petropavlovsk, Magzhan Zhumabayev St. 114
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Astana, Satpayev street, building 2
*e-mail: kalmanova@mail.ru

A COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELS BASED ON GPT AND ITS OWN CREATED NEURAL NETWORK IN THE PROBLEM OF OBJECT DETECTION

In recent years, the use of neural networks has expanded significantly through the development of models such as Generative Pre-trained Transformer (GPT) and various variations of convolutional neural networks (CNN) for various machine vision tasks. One of the key tasks in this area is the detection of objects in images. This article presents a comparative analysis of GPT-based models, pre-trained models and created artificial neural networks in the context of object detection. Object detection is a key task in computer vision, and applications cover various fields such as autonomous driving, surveillance, and medical imaging. The study begins by outlining the basics of object detection and the importance of choosing the right model for effective implementation. The advantages of their extensive pre-training are juxtaposed with the challenges associated with high computing requirements and limited customization.

Key words: *GPT, Chat-GPT, Neural networks, Chat-GPT, Object Detection, Machine Learning, Deep Learning.*

Авторлар туралы мәліметтер

Ильдар Гусманович Курмашев – PhD, қауымдастырылған профессор, М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Казахстан; e-mail: ikurmashev@ku.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9872-7483.

Ақнұр Көптілеуқызы Қосаяқова – М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті. 2 курс докторанты, Казахстан; e-mail: aknur_ast_enu@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0004-5435-5509.

Динара Мирзабековна Калманова* – педагогика ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының доцент м.а., Астана, Қазақстан; e-mail: dinara_kalmanova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5977-8448.

Өмірзақ Көптілеуұлы Әбдірашев – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының доцент м.а., Астана, Қазақстан; e-mail: omeke_92@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7621-5444.

Сведения об авторах

Ильдар Гусманович Курмашев – PhD, ассоцированный профессор, Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан; e-mail: ikurmashev@ku.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9872-7483.

Акнур Коптилеуовна Косаякова – Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, г. Петропавловск, Казахстан; e-mail: aknur_ast_enu@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0004-5435-5509.

Динара Мирзабековна Калманова* – кандидат педагогических наук, и.о. доцент кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: dinara_kalmanova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5977-8448.

Омирзак Коптилеуович Абдирашев – PhD**,** и.о. доцент кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: omeke_92@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7621-5444.

Information about the authors

Ildar Gusmanovich Kurmashev – PhD, Associate Professor, Manash Kozybayev North Kazakhstan university, Kazakhstan; e-mail: ikurmashev@ku.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9872-7483.

Aknur Koptileuovna Kossayakova – Manash Kozybayev North Kazakhstan university, Kazakhstan; e-mail: aknur_ast_enu@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0004-5435-5509.

Dinara Mirzabekovna Kalmanova* – Candidate of Pedagogical Sciences and Acting Associate Professor of the Department of «Space Engineering and Technology» at the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan; e-mail: dinara_kalmanova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5977-8448.

Omirzak Koptileuovich Abdirashev – PhD, Acting Associate Professor of the Department of «Space Engineering and Technology» at the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan; e-mail: omeke_92@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7621-5444.

Редакцияға енуі 11.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 15.08.2025
Жариялауға қабылданды 18.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-12

МРНТИ: 20.23.27

CC BY 4.0
Check for updates

А.А. Бондарович[1], А. Мәуліт[2*], И.А. Очередько[3], Ж.З. Жантасова[3]
[1]Алтайский государственный университет,
Российская Федерация, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 61
[2]Шәкәрім университеті,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
[3]Восточно-Казахстанкий университет им. С.Аманжолова,
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Казахстан 55.
*e-mail: maulit.almas@gmail.com

ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ОЦЕНКЕ ПОЧВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ, ПОДВЕРЖЕННОЙ ПАВОДКАМ: ОБЗОР

Аннотация: *Почвенная влажность является одним из ключевых гидрологических параметров, напрямую влияющих на формирование поверхностного стока, паводков и оползней. Особенно важную роль она играет в периоды весеннего снеготаяния и экстремальных метеоосадков, когда насыщенность почвы влагой достигает критических уровней. В условиях глобального изменения климата и участившихся экстремальных погодных явлений возрастает потребность в оперативном и точном мониторинге влажности почвы, особенно для регионов, подверженных паводкам, таких как Восточно-Казахстанская область. В статье представлен*

комплексный обзор современных методов дистанционного зондирования (ДЗЗ), применяемых для оценки почвенной влаги с целью повышения эффективности прогнозирования паводков. Рассматриваются возможности пассивных радиометров (например, SMAP, SMOS), активных радарных сенсоров (Sentinel-1, RADARSAT) и оптических систем (Sentinel-2, Landsat-8) в извлечении информации о влажностных характеристиках верхнего слоя почвы. Кроме того, освещены локальные методы с использованием мультиспектральных камер, установленных на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), что особенно актуально при необходимости локального мониторинга с высоким разрешением. Проведен сравнительный анализ дистанционных и наземных методов измерения почвенной влаги. Особое внимание уделено алгоритмическим подходам обработки спутниковых данных: спектральным и радиометрическим индексам (NDVI, NDMI, LST), методам машинного обучения и нейросетевым архитектурам для улучшения оценки пространственно-временных вариаций почвенной влаги. Рассматриваются также программные решения и платформы, такие как Google Earth Engine, SNAP, ArcGIS и QGIS, обеспечивающие доступ и автоматизированную обработку больших объёмов спутниковых данных. Таким образом, обзор демонстрирует значительный потенциал интеграции ДЗЗ в гидрологические модели для формирования эффективной системы раннего предупреждения о паводках и устойчивого водохозяйственного планирования на региональном уровне.

Ключевые слова: *почвенная влажность, дистанционное зондирование, паводки, спутниковый мониторинг, машинное обучение, нейросети, мультиспектральные данные.*

1. Введение

Наводнения являются одними из наиболее разрушительных стихийных бедствий, приводя к значительным экономическим потерям и угрозе для жизни людей. Особенно актуальна проблема паводков в условиях изменения климата, которое приводит к учащению экстремальных осадков и быстрому таянию снега. Важным фактором формирования паводков является именнопочвенная влага. [1]. При высокой начальной влажности грунта уменьшается инфильтрация, что переводит часть осадков и талых вод в поверхностный сток что увеличивает риск паводка. [2]. Ряд европейских авторов отмечают, что физические параметры почвы могут в значительной степени контролировать масштаб паводка из-за нелинейного характера реакции стока на осадки [3, 4]. Авторы работы [5] изучая более чем 400 естественных водосборов вдоль климатического градиента по всей Европе выявили, что дефицит почвенной влаги сокращает сток сильнее и быстрее, чем она сокращает эвапотранспирацию. В крупнейшем водосборе КНР реки Янцзы (Yangtze River) из-за роста температуры в зимний период таяние снега оказывает незначительное влияние на формирование наводнений и наводнения обычно происходят летом при совпадении насыщения влагой почв и экстремальными осадками [6, 7]. При этом очевидно, что в различных климатических и литологических положениях ведущую роль занимают различные драйверы [8]. Так, изучив 124 642 наводнений по всему миру авторы отметили, чтосовместный вклад осадков и почвенной влажности составляет наибольшую долю многофакторных наводнений, что подчеркивает предварительную роль измерения предшествующей влажности почвы в развитии наводнений [9]. Авторы [10] среди ключевых проблем в сфере изучения влияния влажности почв на гидрологический сток выделили впорос: как инновационные технологии (например, спутниковые и реанализа) могут быть использованы для количественной оценки гидрологических состояний и потоков в диапазоне пространственно-временных масштабов? Особую актуальность данные ДЗЗ и реанализа приобретают в регионах со слабым покрытием наземных инструментальных данных. Одним из таких регионов является Центральная Азия и особенно области с разнообразным рельефом – равнины и горы. Так, Восточно-Казахстанская область (ВКО) – охватывает юго-западную часть Алтайских гор, хребты Саур-Тарбагатай, Зайсанскую впадину и Прииртышскую равнину. Рельеф контрастен: пойма Иртыша – это высота ~150 м над.уровнем моря, а высочайшая точка Катунского хребта – Белуха 4500 м над.ур. моря. Такой перепад высот обуславливает резко континентальный климат с холодной снежной зимой и обильным снегонакоплением в горах, что весной нередко приводит к паводкам и затоплению равнинных территорий. По данным региональной службы ЧС, к зонам высокого риска паводков отнесены Зайсанский, Тарбагатайский, Куршимский, Самарский, Алтайский, Уланский и Глубоковский районы. К территориям со средним риском паводков относятся Катон-Карагайский, Улкен Нарынский, Маркакольский районы и г. Риддер – преимущественно горные местности, где половодье менее масштабное, но возможны локальные сели и разливы рек.

Учитывая вышесказанное регион крайне нуждается в современных методах мониторинга различных факторов паводкового риска. Одним из таких факторов является влажность почвы, которая в данном контексте на региональном уровне слабо изученна и в первую очередь по причине дефицита наземных данных, которые в прогнозных задачах, как показывает мировая практика, возможно дополнить данными спутников и реанализа. Получение своевременной информации о почвенной влаге из различных источников (ДЗЗ, наземные инструментальные и реанализ) позволит лучше понимать пространственные закономерности распределения влажности почвы для повышения качества прогноза объемов весеннего стока и идентификации зон, наиболее уязвимых к паводку.

2. Методы

Для подготовки данной обзорной статьи применялся комплексный методологический подход, включающий систематический анализ научной литературы, библиографический обзор, геопространственный и технологический анализ. Были изучены научных публикаций за последние 15-20 лет, преимущественно из международных баз данных (Scopus, Web of Science, ScienceDirect, MDPI, IEEE Xplore). Основное внимание уделялось статьям, рассматривающим применение технологий дистанционного зондирования (ДЗЗ) для оценки почвенной влажности в контексте паводковых рисков. Особый акцент был сделан на исследованиях, касающихся паводкоопасных регионов, включая Восточно-Казахстанскую область. Использовался сравнительный анализ методов измерения влажности почвы – как традиционных наземных, так и дистанционных, с оценкой эффективности спутниковых, радарных и мультиспектральных сенсоров. Проведен обзор алгоритмов обработки ДЗЗ-данных, включая методы машинного обучения и нейросетей. В рамках анализа программных решений рассмотрены современные ГИС-платформы и облачные вычислительные среды, включая Google Earth Engine, SNAP, ArcGIS и QGIS. Подход обеспечил всесторонний охват темы, обоснование актуальности и выделение перспективных направлений применения ДЗЗ для оценки влажности почвы и прогнозирования паводков.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Обзор основных источников данных о влажности почв

В целом методы мониторинга влажности почвы можно разделить на две большие группы: контактные (наземные) и дистанционные (табл. 1). Контактные – подразумевают прямое измерение влагосодержания на месте, тогда как дистанционные позволяют оценивать влагу удалённо (со спутников или беспилотников), охватывая большие площади [11]. Ниже приведен обзор основных методов измерения и их особенностей применения (табл. 1).

Таблица 1 – Методы мониторинга влажности почв

№	Метод измерения	Описание	Ссылка
1	Гравиметрический метод	Образец почвы высушивается в лаборатории при определенной температуре и массовая влажность вычисляется как разница между массой сырого и сухого образца, отнесенная к массе сухой почвы	[12, 13]
2	Датчики влажности почвы	Приборы, измеряющие влажность через связанные физические параметры. Наиболее распространены диэлектрические методы: TDR (Time Domain Reflectometry, метод временной области) и FDR (Frequency Domain, частотный метод).	[14,15]
3	Нейтронные влагомеры	Портативные приборы, излучающие нейтроны и по скорости их замедления, оценивающие содержание водорода (воды) в почве.	[16]
4	Тензиометры	Приборы для измерения *матричного потенциала* почвенной влаги, т.е. силы удерживания воды грунтом.	[12]
5	Нейтронный зондирования космическими лучами (CRNS – Cosmic-Ray Neutron Sensing)	Основан на регистрации потоков нейтронов, рождающихся при взаимодействии космических лучей с ядрами атомов в почве. Водород (содержащийся преимущественно в воде) эффективно поглощает нейтроны, поэтому по снижению интенсивности космических нейтронов у поверхности можно судить о влажности почвы в слое порядка 0–50 см глубиной на территорию радиусом ~100–300 м вокруг детектора	[17]
6	Инфракрасные термовлагомеры и георадар (GPR)	Наземная радиолокация, способная качественно выявлять контрасты влажности на глубине.	[18]

Инструментальные измерения влажности почвы на локальном уровне наиболее точны, но, их организация имеет ряд ограничений [19-21]. Среди наземных наблюдений за влажностью почвы выделяют: (a) трудоемкие гравиметрические измерения, (b) экспресс-измерения с помощью ручных устройств, (c) автоматические станции наблюдения, которые подходят для непрерывного наблюдения на разных глубинах [22-24]. Крупнейшей в мире платформой для сбора и публикации результатов измерений влажности почвы с более чем 2800 датчиков по всему является Международная сеть по влажности почвы (International Soil Moisture Network, далее ISMN) [25]. Значительных успехов с начала 2000-х годов в создании наземных измерительных сетей по извлечению температуры и влажности почвы на различных глубинах в труднодоступных районах достигли китайские исследователи [26]. На платформе ISMN также опубликованы данные по влажности почв по территории Казахстана, которые были получены в результате декадных гравиметрических измерений для целей агрометеорологии еще во времена СССР, но это, во-первых, небольшое количество станций, где проводились измерения (например, в Восточно-Казахстанской области – это East-Kaza (194a) с рядом наблюдений 1987-1991), а во-вторых это короткие ряды (максимально конец 1970-конец 1990-х годов). Эти наблюдения продолжены и в настоящее время, но предсотавляются только на коммерческой основе. Национальная мониторинговая сеть с применением автоматических измерительных станций по измерению влажности почв на территории Казахстана пока не сформирована. Существуют локальные сети, которые связаны с международными проектами [27].

По сравнению с наземными методами использование дистанционного зондирования позволяет получить непрерывный пространственный охват, но в основном длиннорядные наблюдения существуют только для поверхностной влажности почв до глубины 0-5 см. Ниже рассмотрены основные современные технологии ДЗЗ, применяемые для оценки влажности почвы в контексте паводков: спутниковые системы и сенсоры, беспилотные летательные аппараты, алгоритмы и индексы обработки данных, а также использование нейросетей и машинного обучения (рис. 1).

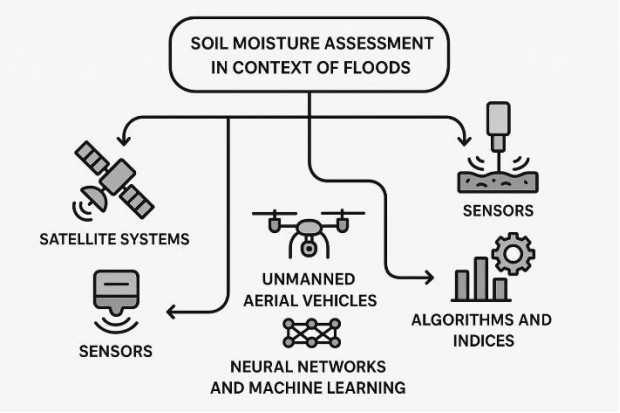


Рисунок 1 – Оценка влажности почвы при паводках: источники данных и методы обработки

Среди спутниковых приборов, связанных с обозначенной задачей, выделяют активные и пассивные СВЧ-радиометры, которые имеют различное пространственно-временное разрешение. Авторы [28] представили подробный обзор и хронологию с 1980-х космических радиометров (пассивное микроволновое излучение), скаттерометров (активное микроволновое излучение) и их комбинации, которые можно использовать для определения поверхностной влажности почвы в глобальном масштабе, в том числе и при оценке рисков наводнений. Подробный анализ возможностей использования данных влажности почв на основе ДЗЗ для гидрологии можно так же найти в работе [29]. Авторы довольно подробного обзора продуктов извлечения влажность почвы в глобальном масштабе [30], выделяют варианты получения данных о поверхностной влажности почв либо с помощью пассивных датчиков (например, SMMR, SSM/I, TMI, WindSat, AMSR-E, AMSR2, SMOS, SMAP) либо - активных датчиков (например, ERS и ASCAT).

Несмотря на существующие ограничения (слабое пространственное разрешение и проникающая способность волны на глубину) именно аппараты пассивного микроволнового

дистанционного зондирования обладают большим потенциалом для получения оценок слоя 0-5 см в региональном масштабе с хорошим временным охватом на ежедневной основе (до 2-х измерений в сутки). В первую очередь речь идет о микроволновом сканирующем радиометре Японского агентства аэрокосмических исследований (JAXA) AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS) на спутнике AQUA (NASA) и микроволновом сканирующем радиометр AMSR-2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2) на спутнике GCOM-W1 (JAXA) [31, 32].

Активные микроволновые сенсоры (радары) на спутниках также широко используются для измерения влажности почв, преимущественно через обратное рассеяние от поверхности. Различают два типа: скаттерометры (низкого разрешения, но широкополосные датчики, предназначенные для глобального мониторинга) и синтезированные апертурные радары (SAR, более высокого разрешения). С 2007 г. на метеоспутниках METOP действуют скаттерометры ASCAT (ESA/EUMETSAT), непрерывно наблюдающие влажность почвы по всему земному шару. На их базе создан оперативный продукт – индекс влажности почвы (SMI), используемый в европейской системе предупреждения засух и наводнений [33]. SAR-радиолокаторы, такие как Sentinel-1A/B (C-диапазон, ЕС, запуски 2014 и 2016 гг.), обеспечивают изображения с высоким пространственным разрешением (10-20 м) и могут применяться для оценки относительной влажности поверхностного слоя на локальном уровне. Sentinel-1 уже применялся для мониторинга экстремальной засухи и паводков – так, его данные ассимилируются в гидрологические модели, как упоминалось ранее, и улучшают расчет половодья [34]. Кроме того, радары Sentinel-1 широко используют для прямого картирования зон затопления во время паводков, поскольку микроволны проникают сквозь облачность и позволяют различать воду и сушу (методом пороговой классификации и индексов на основе коэренса и поляризации).

Оптические и тепловые спутниковые сенсоры не измеряют влагу почвы напрямую, но дают ценные косвенные показатели. Например, мультиспектральные камеры (напр. спутники Landsat-8/9, Sentinel-2) регистрируют отражение света в видимом и инфракрасном диапазоне, что позволяет вычислять спектральные индексы влажности. В частности, NDWI (Normalized Difference Water Index) и NDMI (Normalized Difference Moisture Index) – комбинации отражения в ближнем ИК и видимом/среднем ИК диапазонах – используются для оценки содержания влаги в растительном покрове и выявления переувлажненных площадей [35]. Если территория покрыта растительностью, эти индексы дают информацию о влагозапасах растений и косвенно о влажности почвы в корнеобитаемом слое. Для открытых грунтов оптические данные фиксируют изменение цвета почвы при увлажнении: мокрый грунт темнеет, и его отражательная способность в видимом и ИК снижется. Таким образом, по уменьшению альбедо поверхности можно примерно судить об увлажнении. Однако практическое применение этого ограничения требует учета многих факторов (состав почвы, угол солнца, наличие корки). Гораздо надежнее оптические сенсоры служат для картографирования воды на поверхности – то есть определения, где почва уже перенасыщена и появилась свободная вода. С этой целью используется, например, нормализованный водный индекс MNDWI и другие модификации, выделяющие открытые водоемы на снимках Sentinel-2 [36]. Во время наводнений такие индексы помогают очертить границы затопления, хотя и зависят от облачности (оптические спутники не «видят» сквозь облака). Тепловые инфракрасные сенсоры (на Landsat, MODIS, и специальная миссия ECOSTRESS) измеряют температуру поверхности, которая связана с влажностью через испарение: влажная почва обычно холоднее сухой за счет испарительного охлаждения. На этом основаны методы термального инерциального индексирования (например, индекс температурно-вегетационного рассеяния TVDI), которые могут указывать на зоны сухости или влажности почвы, комбинируя данные LST (land surface temperature) и NDVI. В частности, метод OPTRAM (Optical Trapezoid Model) использует красный, ближний ИК и тепловой канал для оценки влажности верхнего слоя почвы на полях и показал работоспособность в исследованиях с использованием данных Landsat и Sentinel-2 [37]. Оптические и тепловые данные особенно ценны для высокого пространственного разрешения (десятки метров), позволяя рассмотреть мелкомасштабные вариации, недоступные микроволновым датчикам. Но их существенный недостаток – зависимость от погодных условий (прозрачности атмосферы) и от наличия солнечного освещения (для визуальных каналов).

Совмещение данных пассивных и активных микроволновых датчиков (например, метод такоразмеривания, когда грубая по разрешению карта SMOS/SMAP уточняется по текстуре снимка Sentinel-1) – перспективное направление, позволяющее получить влагометрию с высоким разрешением [38]. Также актуально объединение оптических и микроволновых оценок: оптика лучше различает мелкие пространственные детали и состояние растительности, а радиоданные дают физически обоснованную величину влажности. Спутниковые данные постоянно сверяются с наземными измерениями (сетью метеостанций, эксперименты типа SMAPVEX), благодаря чему их алгоритмы улучшаются. Развитие спутникового мониторинга продолжается – планируются новые миссии (например, совместный американо-индийский спутник NISAR с L-диапазонным радаром, запущенный в 2024 г.), которые еще больше повысят качество данных по влажности почвы.

Важно отметить, что на практике наиболее успешными оказываются комбинированные подходы. Например, создание стационарных сетей мониторинга почвенной влаги (с датчиками на разных глубинах) для калибровки и проверки данных дистанционного зондирования. Так, SMAP позволил извлекать влажность почвы не только поверхностного (3 см), но и корнеобитаемого слоя (50см), как это продемонстрировано на примере водосборного бассейна реки Шаньдянь на территории автономных районов КНР Хэбэй и Внутренняя Монголия в масштабах 3, 9, 36, и 100 km^2, где для калибровки были использованы данные наблюдений in-situ: 34 станции, установленных с пространственным разрешением 100, 50 и 10 км, с датчиками Decagon 5TM (США) на глубинах 3, 5, 10, 20, 50 см [40]. В то же время для проведения региональных и локальных исследований больше подходят миссии Sentinel-1 и Sentinel-2. Так, в сельскохозяйственном регионе Саламанка Западной Испании была сделана попытка повысить точность оценки влажности почвы (0-5 см) в сельскохозяйственных районах. Для этой цели были использованы радиолокационные данные датчика Sentinel-1, а также оптические данные датчика Sentinel-2 с пространственной точностью 10 м, а для калибровки использовали данные полевых наблюдений, полученных на месте исследования с использованием датчиков TDR, входящих в ISMN [41].

В заключение рассмотрим существующие алгоритмы и методы анализа данных ДЗЗ для оценки влажности почвы. Современная обработка данных дистанционного зондирования (ДЗЗ) для оценки почвенной влажности базируется на двух подходах: Физико-эмпирические алгоритмы – используются для радиометров и радаров (SMAP, Sentinel-1) с применением моделей инверсии (τ–ω, Water Cloud Model), расчёта спектральных индексов (NDVI, NDWI, NDMI, TVDI, OPTRAM) и геостатистики.

Методы машинного обучения – включают нейросети и интеллектуальные алгоритмы, позволяющие выявлять сложные взаимосвязи между сигналами сенсоров и влагосодержанием почвы. Они обеспечивают высокую точность за счёт обучения на больших наборах данных (рис. 2, табл. 2).

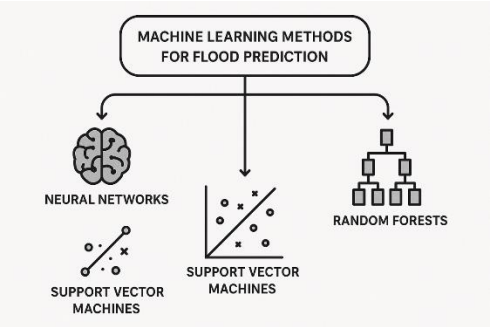


Рисунок 2 – Методы машинного обучения для прогноза паводков

Каждый метод имеет ограничения по пространственному охвату и разрешению, поэтому совмещение наземных измерений с данными спутников и моделей позволяет получить целостную картину. Современные системы предупреждения паводков стремятся учитывать данные разных масштабов: от точечной влажности грунта на гидрологических постах до распределенных полей влажности с гидрометеорологических радаров, спутников и БПЛА.

Таблица 2 – Примеры использования методов машинного обучения и нейросетей в оценке почвенной влажности

№	Подход	Тип алгоритма	Используемые данные	Применение	Преимущества
1	Прямая регрессия влажности	Нейросети (MLP, CNN)	Sentinel-1/2, SMAP, мультиспектр	Количественная оценка влажности	Высокая точность ($R^2 > 0.8$)
2	Классификация состояний почвы	Random Forest, SVM	NDVI, NDWI, SAR	“Сухая/влажная/затопленная” почва	Простота, высокая скорость обучения
3	Слияние данных	Data Fusion (CNN, RF)	Оптические и радарные снимки	Объединение данных с разных спутников	Повышение пространственного разрешения
4	Прогнозирование во времени	LSTM, GRU	Временные ряды: осадки, влага, сток	Прогноз влажности и паводков	Учет динамики, улучшение предсказаний

БПЛА (дроны) стремительно вошли в арсенал методов мониторинга состояния земель, включая оценку увлажненности почв. Например, Guan и соавт. (2023) выполнили съемку сельскохозяйственного поля беспилотником, оснащенным мультиспектральной (RGB+NIR+RedEdge) и тепловизионной камерами, и собрали одновременно ~100 проб влажности на разной глубинемdpi.com mdpi.com. Затем применили ряд алгоритмов машинного обучения (нейросетевые, метод опорных векторов и др.) для установления зависимости между спектрально-тепловыми показателями и измеренной влажностью почвы. Лучшие модели (например, на основе нейронной сети или Gaussian Process Regression) достигли средней ошибки около 4-5% по абсолютной влажности (в долях от полной насыщенности) [42].

Применение БПЛА имеет ограничения: небольшая площадь покрытия за вылет, зависимость от погоды и значительные трудозатраты при больших масштабах. Однако в контексте паводкоопасных территорий их можно использовать для мониторинга наиболее критических зон – например, плотин, береговых линий рек, склонов, где возможен оползень. В этих местах дроны помогут оценить преувлажнение грунтов перед паводком и принять точечные меры (укрепление дамбы, отвод воды). Таким образом, БПЛА не заменяют спутники, но дополняют их на местном уровне, обеспечивая сверхвысокое разрешение и гибкость наблюдений.

3.2 Обзор исследований по применению ДЗЗ для прогноза паводков

За последние десятилетия накоплен значительный научный материал по применению дистанционного зондирования для оценки влажности почвы и улучшения прогнозных моделей наводнений. Так, авторы [43], используя данные спутникового радиометра ASCAT, добились существенного улучшения прогнозов речного стока при паводках в экспериментальном бассейне в Италии. Авторы [44] в обзоре методов спутникового прогнозирования наводнений отмечают исследование, в котором данные Sentinel-1 о влажности поверхности были интегрированы в гидрологическую модель «Continuum» для средиземноморского бассейна. В результате ассимиляция этой информации существенно улучшила расчет паводочных пиков, особенно для случаев сильных ливней. Предварительная насыщенность почвы, полученная со спутника, позволила модели точнее предсказать формирование стремительных паводков. В Соединенных Штатах значительное внимание уделяется использованию данных специализированных миссий для мониторинга почвенной влаги. Спутник NASA SMAP (запущен в 2015 г.) предоставляет глобальные карты влажности верхнего слоя (~5 см) с разрешением порядка 9 км. Данные SMAP широко применяются для улучшения гидрологических прогнозов [45]. Через механизмы data assimilation (ассимиляции данных) спутниковая влажность вводится в оперативные модели осадко-стока, что приводит к более корректному расчету инфильтрации и стока. Например, в Китае проведена работа по внедрению данных SMAP и других спутников во влажностно-балансовую модель реки Ханьцзян. Авторы работы [46] показали, что ассимиляция спутниковых оценок влажности почвы повысила точность прогноза паводка на реке Сюнь, улучшив совпадение рассчитанных и наблюдаемых пиков расхода воды. Отдельно стоит отметить исследования по

использованию мультиспектральных и тепловых данных для косвенной оценки переувлажнения территории во время паводков. Оптические спутники (Landsat, Sentinel-2 и др.) не могут напрямую измерять влагу в почве, но широко применяются для картографирования зон затопления и выявления аномалий влажности по вегетационным индексам. Авторы [47] разработали глубокую нейросетевую модель, анализирующую совместно снимки Sentinel-1 (радар) и Sentinel-2 (оптика), для детектирования областей затопления. Их подход с использованием данных ИК-диапазона (для выделения воды и влажных почв с помощью модифицированных водных индексов) позволил повысить достоверность карт паводкового затопления. Это подтверждает глобальную тенденцию: современные методы ДЗЗ не ограничиваются одним типом данных, а комбинируют различные источники (радиолокационные, оптические, климатические) для всестороннего мониторинга паводков и факторов, им способствующих.

Мировая практика прогнозирования паводков с учетом влажности почв опирается на различные источники данных. Авторы [48] использовали австралийскую модель водного баланса (англ. Australian water balance model (AWBM) непрерывного стока-осадков для калибровки 45 водосборов в бассейне Мюррей-Дарлинг (Австралия) и обнаружили, что правильное моделирование влажности почвы предшествующего периода может значительно повысить точность моделирования. Авторы [49] анализируя экстремальные паводки в Австрии и на Крите с помощью пространственно - распределенной модели внезапного паводка Kampus (состоит из процедуры снега, влажности почвы и маршрутизации потока), которая была откалибрована с применением данных ДЗЗ о поверхностном слое влажности почв разрешение 25 км (скаттерометр ERS-1) и показаниями осадкомеров выявили, что первоначальное воздействие влажности почвы на реакцию на внезапные паводки, вероятно, зависит от масштаба события, а не от климата или региона. Более того, было обнаружено, что водосборный бассейн демонстрирует в Австрии более нелинейную зависимость между предшествующей влажностью почвы и максимальным расходом воды, чем водосборный бассейн Крита, что объясняется различиями в типе почвы. Авторы [50] проанализировали сроки наводнений рек в Европе в период с 1960 по 2010 годы с использованием данных 4262 гидропостов в и обнаружили явный сдвиг в сроках зимних паводков в Западной Европе из-за более ранних максимумов влажности почвы. Авторы [51] показали, что большинство ежегодных пиковых паводков в Европе вызваны не крупными осадками, а взаимным совпадением экстремальных осадков с условиями таяния снега или насыщения влагой почвы. Анализ данных 4-х гидропостов с 1955-2016 в бассейне второй по величине реки Индии Годавари с применением модели переменной инфильтрации показал, что в более 80% случаев экстремальных осадков, вызывающих наводнения, накладывались на фактор предшествующей влажности почвы [52]. Авторы [53] используя данные в 1378 гидрологических водосборах по всей Европе за период 1980-2010 гг. продемонстрировали тесную статистическую ковариационную связь между влажностью почвы и аномалиями стока для различных европейских климатических режимов. Используя основанный на данных сравнительный подход с несколькими водосборными бассейнами и различными наборами данных, они выявили доминирующую ковариацию первого порядка между влажностью почвы и стоком в месячном масштабе. Авторы [54] изучили тенденции стока рек Австралии, используя продукты AWAP – ежедневные данные о количестве осадков с координатной сеткой 0,05° (5 км), AWRA-L – модели суточного распределенного водного баланса, а также данные in-situ о влажности почв в 1 м и обнаружили, что в тропических регионах время паводков тесно связано со временем выпадения осадков и годового максимума влажности почвы, а на юге Австралии время паводка больше коррелирует с максимальным уровнем влажности почвы, чем с максимальным количеством осадков. Наводнения со стремительным подъемом уровня воды в летне-осенний период в 2021, в 2023 и в 2024 натолкнули на изучение пространственно-временных закономерностей на основе Event Coincidence Analysis (ECA) (Анализ совпадений событий) между насыщенной влагой почвой и экстремальными осадками для дальнейшей визуализации сезонного характера такой зависимости в различных типах климата Европы, а в последствии идентификации ежегодных наводнений, возникающих после того, как такие совпадения влага почвы и осадки уже имели место быть. При этом исследователи столкнулись с проблемой, которая характерна для всех регионов мира, а именно – не существует набора инструментальных данных наблюдений за влажностью почвы

в континентальном масштабе с последовательным и однородным пространственным и временным охватом. Поэтому были использованы альтернативные данные, полученные на основе модели GLEAM [55].

Особый интерес представляют горные водосборные бассейны, которые дают преобладающий вклад в питание крупнейших водных артерий мира. Интерес представляет применение Китайской системы гидрологического моделирования ливневых паводков (англ. China Flash flood-Hydrological Modeling System (CNFF-HMS) для определения пороговых значений осадков и предшествующей влажности почв и их влияния на наводнение в трех горных водосборных бассейнах на юге Китая. Результаты показали, что как предшествующая влажность почвы, так и временная схема осадков значительно влияли на изменения порогового значения осадков. Пороговое значение осадков снижалось на 8-38 и 0-42% по мере увеличения насыщения почвы с 0,20 до 0,50 и с 0,20 до 0,80 соответственно [56]. Применяя физически обоснованную распределенную гидрологическую модель (интегрированная гидрологическая модель, (Integrated Hydrology Model, InHM) к теплому влажному горному водосбору реке Шоуси (площадь водосбора 560 км2) на юго-западе Китая (warm humid mountainous catchment in Southwest China, the Shouxi River.), а также применяя коэффициент насыщения почвы (англ. soil saturation ratio) группа ученых выявила, что увеличение периода возврата осадков и предшествующего коэффициента насыщения почвы значительно увеличило пиковый сток и сократило время пика. Кроме того, с увеличением площади водосбора относительная важность осадков имела тенденцию к снижению, в то время как относительный вклад коэффициента насыщения почвы имеет тенденцию к увеличению [57]. Близкие результаты получены по крупнейшему водосбору Китая реке КНР реки Янцзы (Yangtze River), для которого провели анализ ежегодных наводнений с более чем 200 гидрологических станций за два периода с 1970 по 1990 год и с 2007 по 2016 год в среднем и нижнем бассейне реки Янцзы, а также применяя индекс топографической влажности и потенциальную эвапотранпирацию выявили, что доминирующий фактор в возникновении наводнений смещается с осадков на предшествующую влажность почвы с увеличением площади водосбора. При этом авторы отметили, что полученные выводы могут быть полезны для оценки потенциального риска наводнений в труднодоступных горных регионах, но с оговоркой чтобы применить наши выводы к холодным водоразделам со значительным воздействием снега, необходимо включить компонент таяния снега [58]. Практически во всех перечисленных примерах данные о влажности почв были смоделированы, поскольку и выше уже упоминалось, что многие исследователи сталкиваются с проблемой отсутствия инструментальных данных о влажности почвы в масштабе водосбора. Интересен опыт оценки возможных паводков на основе спутниковых, модельных и инструментальных данных об эквиваленте снеговой воды (SWE), влажности почвы (SM) и аномалии запаса подземных вод (GWSA) для анализа их пространственно-временных изменений в сезонном замерзании-оттаивании в трансграничный бассейн реки Тюмень [59]. В этом исследовании [59], для измерения влажности почвы был создан пункт мониторинга влажности почвы на глубинах 10 см и 20 см: данные с июня 2019 по июнь 2021 года, датчики влажности (EC-5, METER Inc., США) и сохранялась в виде 30-минутного среднего значения с помощью регистратора данных (ZENO 3200, Coastal, США). Для оценки эквивалента снеговой воды (Snow water equivalent) были использованы наборы данных AMSR-E/Aqua Level-3 и AMSR-E/AMSR2 Unified Level-3 по глобальной 25-километровой сетке SWE EASE, выпущенные Национальным центром данных по снегу и льду НАСА (https://nsidc.org/home). Метеорологические данные были получены с применением глобальной системы ассимиляции данных о суше (GLDAS), которая предоставляет широкий спектр высококачественных глобальных приземных метеорологических данных, параметрических карт и результатов моделей суши. Данные о температуре (T) и осадках (P) для этого исследования были извлечены из ежемесячных данных о воздействии из Noah Land Surface Model (NLSM) 0,25° (https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas/forcing-data). Данных о поверхностной влажности почвы были получены с использованием продукта основе дистанционного зондирования (Remote Sensing-based global Surface Soil Moisture dataset, RSSSM), который создан на основе калибровку данных и слияние данных 11 общепризнанных микроволновых продуктов дистанционного зондирования влажности почвы с 2003 года с помощью нейронной сети, при этом данные влажности почвы Soil Moisture Active Passive (SMAP) применялись в качестве основной цели обучения [61, 62].

Для локальных исследований на уровне небольших водосборов, которые требуют более высокого пространственного разрешения, как и в нашем случае, больший интерес представляет алгоритм определения влажности почвы с разрешением 1 км, использующий данные спутникового радара Sentinel-1 [63]. Разработана прямая модель, направленная на количественную оценку связи между влажностью почвы и коэффициентами обратного рассеяния радарных данных. В дальнейшем влажность почвы определялась как значение, минимизирующее разность между коэффициентом обратного рассеяния, полученным с помощью прямой модели, и наблюдениями, полученными с Sentinel-1. Проверка показала, что предложенный алгоритм воспроизводит влажность почвы с несмещенной среднеквадратичной разницей (unbiased root mean squared difference, ubRMSD) 0,077 м3/м3. Созданы глобальные карты влажности почвы за период 2016-2022 гг. с разрешением 1 км, с частотой наблюдений 3-6 суток для Европы и 6-12 суток для других регионов. В нашей работе был использован данный алгоритм.

В государствах постсоветского пространства также ведутся работы по внедрению дистанционных методов контроля почвенной влажности и предупреждению паводков. В Российской Федерации проблема оперативной оценки влажности почв рассматривается как актуальная, учитывая обширность территории и разнообразие климатических условий. Задача определения влажности грунта спутниковыми методами остается сложной, однако развивается с появлением новых данных и алгоритмов. Российские ученые используют как зарубежные спутниковые данные (например, от SMOS, SMAP, Sentinel), так и собственные разработки.

Следует упомянуть, что в странах СНГ исторически сильны традиции гидрометеорологического мониторинга, поэтому подход часто комбинированный: ГИС и дистанционное зондирование интегрируются с наземными наблюдениями. В российских работах делается акцент на создание геоинформационных систем риска наводнений, где исходные данные включают спутниковые оценки влажности почвы, данные о снегозапасах и осадках [64]. Например, для бассейнов рек Южной Сибири и Дальнего Востока предпринимаются попытки учитывать данные спутниковых микроволновых радиометров о влажности поверхности при сезонном прогнозе половодья. Также рассматриваются возможности спутниковой гравиметрии (миссия GRACE) для оценки изменения запасов воды в почве и грунтовых вод, что может указывать на общее увлажнение территории [65].

В Казахстане применение технологий дистанционного зондирования для отслеживания влажности почвы и связанных гидрологических рисков находится в стадии активного развития. Учитывая большую площадь страны и неравномерность сети наземных наблюдений, спутниковый мониторинг обеспечивает уникальную возможность получать данные по труднодоступным территориям в реальном времени. В последние годы реализованы пилотные проекты по оценке почвенной влаги из космоса. Так, специалисты АО «Қазақстан Ғарыш Сапары» совместно с учеными провели исследования в северном Казахстане, ключевом аграрном регионе страны. Кабжанова и соавт. (2024) продемонстрировали, что сочетание спутниковых снимков и полевых измерений позволяет эффективно картировать предпосевные запасы продуктивной влаги в почве [66]. В их работе использовались мультиспектральные данные (в том числе расчёт индексов NDVI, NDWI, NDMI) в комбинации с данными точечных измерений влагомерами. Калибровка спутниковых индексов по результатам проб грунта повысила точность количественной оценки влажности [66]. Итогом стала серия карт распределения влаги по районам Северо-Казахстанской области, которые выявили значительную пространственную неоднородность – от переувлажненных низин до пересушенных участков. Этот опыт ценен не только для сельского хозяйства (планирование ирригации, борьба с засухой), но и с точки зрения водного баланса: недостаточное увлажнение почвы зимой и весной уменьшает объем половодья, а избыточная влажность – наоборот, повышает риск скоротечного стока при талом периоде.

Прямых исследований, посвященных именно паводкам в Восточном Казахстане с применением ДЗЗ, пока немного, но предпосылки для их проведения есть. Казгидромет и подразделения МЧС РК проявляют интерес к спутниковому мониторингу снежного покрова и влажности почв как индикаторов возможного паводка. В некоторых работах отмечалась возможность использования данных казахстанского спутника KazEOSat и европейских Sentinel для наблюдения за динамикой снежного покрова в горах Алтая и влагой почвы в

поймах рек Иртыш, Уба, Улба. Существующие научные результаты в мире и первые исследования в самой Республике Казахстан показывают, что применение дистанционного зондирования открывает новые горизонты в понимании паводковых процессов. В частности, оно помогает получать непрерывные поля влажности почвы, интегрировать их в гидрологические модели и тем самым повышать точность прогнозирования наводнений и масштабов половодья.

Вывод

Почвенная влажность играет ключевую роль в формировании паводков, определяя масштаб и вероятность стока осадков. Современные технологии дистанционного зондирования, включая спутники SMOS, SMAP и ASCAT, а также БПЛА, позволяют эффективно мониторить этот показатель на больших территориях. В Восточно-Казахстанской области, подверженной весенним половодьям, спутниковые данные могут дополнять наблюдения Казгидромета, обеспечивая раннее выявление зон преднасыщения почв. Интеграция данных о влажности, снежном покрове, рельефе и метеоусловиях в численные модели с применением машинного обучения открывает возможности для точного прогнозирования паводков и оценки риска по районам. Беспилотники позволяют детально обследовать плотины и городские территории на предмет фильтрации и переувлажнения. Внедрение этих технологий требует калибровки данных под местные условия, развития инфраструктуры и подготовки специалистов. Такой подход повысит точность предупреждений и снизит ущерб от наводнений, особенно в условиях усиливающегося воздействия климатических изменений.

Список литературы

1. The impacts of rainfall and soil moisture on flood hazards in a humid mountainous catchment: a modeling investigation / T. Yu et al // Frontiers in Earth Science. – 2023. – № 11. – P. 1285766..frontiersin.orgfrontiersin.org.
2. The relative importance of antecedent soil moisture and precipitation in flood generation in the Yangtze River basin / Q. Ran et al // Hydrology and Earth System Sciences. – 2022. – № 26. – P. 4919-4936. hess.copernicus.org.
3. Initial Soil Moisture Effects on Flash Flood Generation – A Comparison Between Basins of Contrasting Hydro-Climatic Conditions / M.G. Grillakis et al // J. Hydrol. – 2016. – № 541. – P. 206-217. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.007.
4. The Relative Importance of Different Flood-Generating Mechanisms across Europe / W.R. Berghuijs // J.W. Water Resour. Res. – 2019. – № 55. – P. 4582-4593. https://doi.org/10.1029/2019WR024841.
5. Orth R. Drought Reduces Blue-Water Fluxes More Strongly than Green-Water Fluxes in Europe / R. Orth, G. Destouni // Nat. Commun. – 2018. – № 9. – P. 3602. https://doi.org/10.1038/s41467-018-06013-7.
6. Yang W. Classifying Floods by Quantifying Driver Contributions in the Eastern Monsoon Region of China / W. Yang, H. Yang D. Yang // J. Hydrol. – 2020. – № 585. – P. 124767. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124767.
7. Study on the Dominant Mechanism of Extreme Flow Events in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River / J. Wang et al // China Rural Water Hydropower. – 2022. – № 06. – P. 119-124.
8. Sharma S. Baseflow Significantly Contributes to River Floods in Peninsular India / S. Sharma, P.P. Mujumdar // Sci. Rep. – 2024. – № 14. – P. 1251. https://doi.org/10.1038/s41598-024-51850-w.
9. Effects in Flood Drivers Challenge Estimates of Extreme River Floods / S. Jiang et al // J. Compounding Sci. Adv. – 2024. – № 10. – P. eadl4005. https://doi.org/10.1126/sciadv.adl4005.
10. Close Co-Variation Between Soil Moisture and Runoff Emerging from Multi-Catchment Data Across Europe / N. Ghajarnia et al // G. Sci. Rep. – 2020. – № 10. – P. 4817. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61621-y.
11. Assimilation of surface- and root-zone ASCAT soil moisture products into rainfall–runoff modeling / L. Brocca et al // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 2012. – № 50(7). – P. 2542-2555.mdpi.commdpi.com
12. Munawar H.S. Remote Sensing Methods for Flood Prediction: A Review / H.S. Munawar, A.W.A. Hammad, S.T. Waller // Sensors. – 2022. – № 22(3). – P. 960.mdpi.commdpi.com

13. https://smap.jpl.nasa.gov/
14. Application of Soil Moisture Data Assimilation in Flood Forecasting of Xun River in Hanjiang River Basin / J. Bai et al // Water. – 2022. – № 14(24). – P. 4061.mdpi.commdpi.com
15. Exploring Sentinel-1 and Sentinel-2 diversity for flood inundation mapping using deep learning / G. Konapala et al // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2021. – № 180. – P. 163-173.mdpi.com
16. Родионова Н.В. Оценка влажности почвы по радарным данным на основе множественной регрессии / Н.В. Радионова // Распространение радиоволн. – 2023. – С. 432-436.
17. https://innoter.com/
18. Волчек А.А. Источники данных глобального мониторинга влажности почвы средствами дистанционного зондирования поверхности земли / А.А. Волчек, Д.О. Петров // Гидрометеорология и экология. – 2021. – № 1(100). – С. 38-43.
19. Investigating Soil Moisture–Climate Interactions in a Changing Climate: A Review / S.I. Seneviratne et al // Earth-Sci. Rev. – 2010. – № 99. – P. 125-161. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004.
20. Ground, Proximal, and Satellite Remote Sensing of Soil Moisture / E. Babaeian et al // M. Rev. Geophys. – 2019. – № 57. – P. 530-616. https://doi.org/10.1029/2018RG000618.
21. Accuracy Calibration and Evaluation of Capacitance-Based Soil Moisture Sensors for a Variety of Soil Properties / B. Li et al // Agric. Water Manag. – 2022. – № 273. – P. 107913. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107913.
22. Soil Moisture Measurement for Ecological and Hydrological Watershed-Scale Observatories: A Review / D.A. Robinson et al // Vadose Zone J. – 2008. – № 7. – P. 358-389. https://doi.org/10.2136/vzj2007.0143.
23. Validation Analysis of SMAP and AMSR2 Soil Moisture Products over the United States Using Ground-Based Measurements / X. Zhang et al // S. Remote Sens. – 2017. – № 9. – P. 104. https://doi.org/10.3390/rs9020104.
24. Assessing In-Field Soil Moisture Variability in the Active Root Zone Using Granular Matrix Sensors / B. Hodges et al // Agric. Water Manag. – 2023. – № 282. – P. 108268. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108268.
25. The International Soil Moisture Network: Serving Earth System Science for over a Decade / W. Dorigo et al // Hydrol. Earth Syst. Sci. – 2021. – № 25. – P. 5749-5804. https://doi.org/10.5194/hess-25-5749-2021.
26. QLB-NET: A Dense Soil Moisture and Freeze–Thaw Monitoring Network in the Qinghai Lake Basin on the Qinghai–Tibetan Plateau / L. Chai et al // Bull. Am. Meteorol. Soc. – 2024. – № 105. – P. E584-E604. https://doi.org/10.1175/bams-d-23-0186.1.
27. Forschungsarbeiten zum Bodenwasserhaushalt in der kasachischen Steppe / L. Haselow et al // Wasserwirtsch. – 2020. – № 110. – P. 34-40. https://doi.org/10.1007/s35147-020-0366-2.
28. A Review of Satellite-Derived Soil Moisture and Its Usage for Flood Estimation / S. Kim et al // Remote Sens. Earth Syst. Sci. – 2019. – № 2. – P. 225-246. https://doi.org/10.1007/s41976-019-00025-7.
29. Satellite Remote Sensing of Soil Moisture for Hydrological Applications: A Review of Issues to Be Solved. In ICT for Smart Water Systems: Measurements and Data Science / L. Zhuo et al // The Handbook of Environmental Chemistry; Springer: Cham, Switzerland. – 2019. – Vol. 102. https://doi.org/10.1007/698_2019_394.
30. Chen Y. An Improved Global Remote-Sensing-Based Surface Soil Moisture (RSSSM) Dataset Covering 2003-2018 / Y. Chen, X. Feng, B. Fu // Earth Syst. Sci. – 2021. – № 13. – P. 1-31. https://doi.org/10.5194/essd-13-1-2021.
31. Global Soil Moisture Patterns Observed by Spaceborne Microwave Radiometers and Scatterometers / R.A. De Jeu et al // Surv. Geophys. – 2008. – № 29. – P. 399-420. https://doi.org/10.1007/s10712-008-9044-0.
32. Monitoring Hydrological Changes with Satellite Data: Spring Thaw's Effect on Soil Moisture and Groundwater in Seasonal Freezing–Thawing Zones / J. Wang et al // J. Hydrol. – 2023. – № 626. – P. 130365. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130365.
33. Kashyap B. Sensing methodologies in agriculture for soil moisture and nutrient monitoring / B. Kashyap, R. Kumar // IEEE Access. – 2021. – Т. 9. – P. 14095-14121.

34. Noborio K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review / K. Noborio // Computers and electronics in agriculture. – 2001. – T. 31, № 3. – P. 213-237.
35. A generalized frequency domain reflectometry modeling technique for soil electrical properties determination / J. Minet et al // Vadose zone journal. – 2010. – T. 9, № 4. – P. 1063-1072.
36. SU S.L. A critical review of soil moisture measurement / S.L. SU, D.N. Singh, M.S. Baghini // Measurement. – 2014. – T. 54. – P. 92-105.
37. State of the art in large-scale soil moisture monitoring / T.E. Ochsner et al // Soil Science Society of America Journal. – 2013. – T. 77, № 6. – P. 1888-1919.
38. Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review / D.A. Robinson et al // Vadose zone journal. – 2008. – T. 7, № 1. – P. 358-389.
39. Initial soil moisture retrievals from the METOP-A Advanced Scatterometer (ASCAT) / Z. Bartalis et al // Geophysical Research Letters. – 2007. – T. 34, № 20.
40. Visual sensing for urban flood monitoring / S.W. Lo et al // Sensors. – 2015. – T. 15, № 8. – P. 20006-20029.
41. Kaku K. Satellite remote sensing for disaster management support: A holistic and staged approach based on case studies in Sentinel Asia / K. Kaku // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2019. – T. 33. – P. 417-432.
42. https://developers.google.com/
43. Soil Moisture Measuring Techniques and Factors Affecting the Moisture Dynamics: A Comprehensive Review / A. Sarwar et al // Sustainability. – 2022. – № 14(18). – P. 11538.mdpi.commdpi.com.
44. Deep Learning-Based Framework for Soil Moisture Content Retrieval of Bare Soil from Satellite Data / M. Dabboor et al // Remote Sensing. – 2023. – № 15(7). – P. 1916.mdpi.commdpi.com.
45. Assessing the Potential of UAV-Based Multispectral and Thermal Data to Estimate Soil Water Content Using Geophysical Methods / Y. Guan et al // Remote Sensing. – 2024. – № 16(1). – P. 61. (Published 22 Dec 2023)mdpi.commdpi.com.
46. Review of Machine Learning Approaches for Biomass and Soil Moisture Retrievals from Remote Sensing Data / I. Ali et al // Remote Sensing. – 2015. – № 7. – P. 16398-16421.mdpi.com.
47. COSMOS: The Cosmic-Ray Soil Moisture Observing System / M. Zreda et al // Hydrology and Earth System Sciences. – 2012. – № 16. – P. 4079-4099.
48. Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review / D.A. Robinson et al // Vadose Zone Journal. – 2008. – № 7(1). – P. 358-389.
49. The Soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission / D. Entekhabi et al // Proceedings of the IEEE. – 2010. – № 98(5). – P. 704-716.
50. The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle / Y.H. Kerr et al // Proceedings of the IEEE. – 2010. – № 98(5). – P. 666-687.
51. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / N. Gorelick et al // Remote Sensing of Environment. – 2017. – № 202. – P. 18-27.sciencedirect.com.
52. ESA CCI Soil Moisture for improved Earth system monitoring: Evaluation of the Climate Data Record / W. Dorigo et al // Remote Sensing of Environment. – 2017. – № 203. – P. 185-201.
53. Soil moisture estimation through ASCAT and AMSR-E sensors: An intercomparison and validation study across Europe / L. Brocca et al // Remote Sensing of Environment. – 2011. – № 115(12). – P. 3390-3408.
54. Flood Detection and Susceptibility Mapping Using Sentinel-1 Remote Sensing Data and a Machine Learning Approach (Bagging-KNN) / H. Shahabi et al // Remote Sensing. – 2020. – № 12(2). – P. 266.
55. Influence of changes in rainfall and soil moisture on trends in flooding (study in Mediterranean region) / Y. Tramblay et al // Journal of Hydrology. – 2018. – № 560. – P. 245-258.
56. Anusha N. Flood detection and flood mapping using multi-temporal synthetic aperture radar and optical data / N. Anusha, B. Bharathi // Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. – 2020. – № 23(2). – P. 207-219.
57. Atar M. Retrieval of Soil Moisture Using Time Series of Radar and Optical Remote Sensing Data at 10 m Resolution / M. Atar, R. Shah-Hosseini, O. Ghaffari // Environ. Sci. Proc. – 2024. – № 29. – P. 75. https://doi.org/10.3390/ECRS2023-16861.
58. Chen, Y. An Improved Remote Sensing-Based Global Surface Soil Moisture Dataset (RSSSM, 2003-2020) [Dataset]. PANGAEA 2022. https://doi.org/10.1594/PANGAEA.940004.

59. Dodin A. Principal Characteristics of the Geological Structure and Genesis of the Eastern Part of the Altai-Sayan Structural Zone / A. Dodin // In Natural Conditions of the Krasnoyarsk Region; Nauka: Moskva, Russia. – 1961. – p. 99-125.
60. A Sentinel-1 SAR-Based Global 1-km Resolution Soil Moisture Data Product: Algorithm and Preliminary Assessment. Remote Sens / D. Fan et al // Environ. – 2025. – № 318. – P. 114579. https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114579.
61. Gao Y. Light Thinning Can Improve Soil Water Availability and Water Holding Capacity of Plantations in Alpine Mountains / Y. Gao et al // Front. Plant Sci. – 2022. – № 13. – P. 1032057. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1032057.
62. Ensemble of Optimised Machine Learning Algorithms for Predicting Surface Soil Moisture Content at a Global Scale / Q. Han et al // Geosci. Model Dev. – 2023. – № 16. – P. 5825-5845. https://doi.org/10.5194/gmd-16-5825-2023.
63. Understanding the Impacts of Predecessor Rain Events on Flood Hazard in a Changing Climate / A. Khatun et al // Hydrol. Process. – 2022. – № 36. – P. e14500. https://doi.org/10.1002/hyp.14500.
64. Augmenting Daily MODIS LST with AIRS Surface Temperature Retrievals to Estimate Ground Temperature and Permafrost Extent in High Mountain Asia / K.Y. Kim et al // Remote Sens. Environ. – 2024. – № 305. – P. 114075. https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114075.
65. Assessment of ERA5-Land Volumetric Soil Water Layer Product Using In Situ and SMAP Soil Moisture Observations / P. Lal et al // IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. – 2022. – № 19. – P. 2508305. https://doi.org/10.1109/LGRS.2022.3223985.
66. Кабжанова Г.Р. Рахимжанов, Б.К.; Тулеукулова, Д.Т. Оценка возможностей дистанционного мониторинга влажности почвы на территории Северного Казахстана / Г.Р. Кабжанова, Б.К. Рахимжанов, Д.Т. Тулеукулова // Вестник науки КазАТУ им. С.Сейфуллина. – 2024. – № 4(123).

References

1. The impacts of rainfall and soil moisture on flood hazards in a humid mountainous catchment: a modeling investigation / T. Yu et al // Frontiers in Earth Science. – 2023. – № 11. – R. 1285766..frontiersin.orgfrontiersin.org. (In English).
2. The relative importance of antecedent soil moisture and precipitation in flood generation in the Yangtze River basin / Q. Ran et al // Hydrology and Earth System Sciences. – 2022. – № 26. – R. 4919-4936. hess.copernicus.org. (In English).
3. Initial Soil Moisture Effects on Flash Flood Generation – A Comparison Between Basins of Contrasting Hydro-Climatic Conditions / M.G. Grillakis et al // J. Hydrol. – 2016. – № 541. – R. 206-217. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.007. (In English).
4. The Relative Importance of Different Flood-Generating Mechanisms across Europe / W.R. Berghuijs // J.W. Water Resour. Res. – 2019. – № 55. – R. 4582-4593. https://doi.org/10.1029/2019WR024841. (In English).
5. Orth R. Drought Reduces Blue-Water Fluxes More Strongly than Green-Water Fluxes in Europe / R. Orth, G. Destouni // Nat. Commun. – 2018. – № 9. – R. 3602. https://doi.org/10.1038/s41467-018-06013-7. (In English).
6. Yang W. Classifying Floods by Quantifying Driver Contributions in the Eastern Monsoon Region of China / W. Yang, H. Yang D. Yang // J. Hydrol. – 2020. – № 585. – R. 124767. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124767. (In English).
7. Study on the Dominant Mechanism of Extreme Flow Events in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River / J. Wang et al // China Rural Water Hydropower. – 2022. – № 06. – R. 119-124. (In English).
8. Sharma S. Baseflow Significantly Contributes to River Floods in Peninsular India / S. Sharma, P.P. Mujumdar // Sci. Rep. – 2024. – № 14. – R. 1251. https://doi.org/10.1038/s41598-024-51850-w. (In English).
9. Effects in Flood Drivers Challenge Estimates of Extreme River Floods / S. Jiang et al // J. Compounding Sci. Adv. – 2024. – № 10. – R. eadl4005. https://doi.org/10.1126/sciadv.adl4005. (In English).
10. Close Co-Variation Between Soil Moisture and Runoff Emerging from Multi-Catchment Data Across Europe / N. Ghajarnia et al // G. Sci. Rep. – 2020. – № 10. – R. 4817. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61621-y. (In English).

11. Assimilation of surface- and root-zone ASCAT soil moisture products into rainfall–runoff modeling / L. Brocca et al // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. – 2012. – № 50(7). – R. 2542-2555.mdpi.commdpi.com. (In English).
12. Munawar H.S. Remote Sensing Methods for Flood Prediction: A Review / H.S. Munawar, A.W.A. Hammad, S.T. Waller // Sensors. – 2022. – № 22(3). – R. 960.mdpi.commdpi.com. (In English).
13. https://smap.jpl.nasa.gov/. (In English).
14. Application of Soil Moisture Data Assimilation in Flood Forecasting of Xun River in Hanjiang River Basin / J. Bai et al // Water. – 2022. – № 14(24). – R. 4061.mdpi.commdpi.com. (In English).
15. Exploring Sentinel-1 and Sentinel-2 diversity for flood inundation mapping using deep learning / G. Konapala et al // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2021. – № 180. – R. 163-173.mdpi.com. (In English).
16. Rodionova N.V. Otsenka vlazhnosti pochvy po radarnym dannym na osnove mnozhestvennoi regressii / N.V. Radionova // Rasprostranenie radiovoln. – 2023. – S. 432-436. (In Russian).
17. https://innoter.com/. (In English).
18. Volchek A.A. Istochniki dannykh global'nogo monitoringa vlazhnosti pochvy sredstvami distantsionnogo zondirovaniya poverkhnosti zemli / A.A. Volchek, D.O. Petrov // Gidrometeorologiya i ehkologiya. – 2021. – № 1(100). – S. 38-43. (In Russian).
19. Investigating Soil Moisture–Climate Interactions in a Changing Climate: A Review / S.I. Seneviratne et al // Earth-Sci. Rev. – 2010. – № 99. – R. 125-161. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004. (In English).
20. Ground, Proximal, and Satellite Remote Sensing of Soil Moisture / E. Babaeian et al // M. Rev. Geophys. – 2019. – № 57. – R. 530-616. https://doi.org/10.1029/2018RG000618. (In English).
21. Accuracy Calibration and Evaluation of Capacitance-Based Soil Moisture Sensors for a Variety of Soil Properties / V. Li et al // Agric. Water Manag. – 2022. – № 273. – R. 107913. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107913. (In English).
22. Soil Moisture Measurement for Ecological and Hydrological Watershed-Scale Observatories: A Review / D.A. Robinson et al // Vadose Zone J. – 2008. – № 7. – R. 358-389. https://doi.org/10.2136/vzj2007.0143. (In English).
23. Validation Analysis of SMAP and AMSR2 Soil Moisture Products over the United States Using Ground-Based Measurements / X. Zhang et al // S. Remote Sens. – 2017. – № 9. – R. 104. https://doi.org/10.3390/rs9020104. (In English).
24. Assessing In-Field Soil Moisture Variability in the Active Root Zone Using Granular Matrix Sensors / V. Hodges et al // Agric. Water Manag. – 2023. – № 282. – R. 108268. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108268. (In English).
25. The International Soil Moisture Network: Serving Earth System Science for over a Decade / W. Dorigo et al // Hydrol. Earth Syst. Sci. – 2021. – № 25. – R. 5749-5804. https://doi.org/10.5194/hess-25-5749-2021. (In English).
26. QLB-NET: A Dense Soil Moisture and Freeze–Thaw Monitoring Network in the Qinghai Lake Basin on the Qinghai–Tibetan Plateau / L. Chai et al // Bull. Am. Meteorol. Soc. – 2024. – № 105. – R. E584-E604. https://doi.org/10.1175/bams-d-23-0186.1. (In English).
27. Forschungsarbeiten zum Bodenwasserhaushalt in der kasachischen Steppe / L. Haselow et al // Wasserwirtsch. – 2020. – № 110. – R. 34-40. https://doi.org/10.1007/s35147-020-0366-2. (In English).
28. A Review of Satellite-Derived Soil Moisture and Its Usage for Flood Estimation / S. Kim et al // Remote Sens. Earth Syst. Sci. – 2019. – № 2. – R. 225-246. https://doi.org/10.1007/s41976-019-00025-7. (In English).
29. Satellite Remote Sensing of Soil Moisture for Hydrological Applications: A Review of Issues to Be Solved. In ICT for Smart Water Systems: Measurements and Data Science / L. Zhuo et al // The Handbook of Environmental Chemistry; Springer: Cham, Switzerland. – 2019. – Vol. 102. https://doi.org/10.1007/698_2019_394. (In English).
30. Chen Y. An Improved Global Remote-Sensing-Based Surface Soil Moisture (RSSSM) Dataset Covering 2003-2018 / Y. Chen, X. Feng, B. Fu // Earth Syst. Sci. – 2021. – № 13. – R. 1-31. https://doi.org/10.5194/essd-13-1-2021. (In English).
31. Global Soil Moisture Patterns Observed by Spaceborne Microwave Radiometers and Scatterometers / R.A. De Jeu et al // Surv. Geophys. – 2008. – № 29. – R. 399-420. https://doi.org/10.1007/s10712-008-9044-0. (In English).

32. Monitoring Hydrological Changes with Satellite Data: Spring Thaw's Effect on Soil Moisture and Groundwater in Seasonal Freezing–Thawing Zones / J. Wang et al // J. Hydrol. – 2023. – № 626. – R. 130365. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130365. (In English).
33. Kashyap B. Sensing methodologies in agriculture for soil moisture and nutrient monitoring / B. Kashyap, R. Kumar // IEEE Access. – 2021. – T. 9. – R. 14095-14121. (In English).
34. Noborio K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review / K. Noborio // Computers and electronics in agriculture. – 2001. – T. 31, № 3. – R. 213-237. (In English).
35. A generalized frequency domain reflectometry modeling technique for soil electrical properties determination / J. Minet et al // Vadose zone journal. – 2010. – T. 9, № 4. – R. 1063-1072. (In English).
36. SU S.L. A critical review of soil moisture measurement / S.L. SU, D.N. Singh, M.S. Baghini // Measurement. – 2014. – T. 54. – R. 92-105. (In English).
37. State of the art in large-scale soil moisture monitoring / T.E. Ochsner et al // Soil Science Society of America Journal. – 2013. – T. 77, № 6. – R. 1888-1919. (In English).
38. Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review / D.A. Robinson et al // Vadose zone journal. – 2008. – T. 7, № 1. – R. 358-389. (In English).
39. Initial soil moisture retrievals from the METOP-A Advanced Scatterometer (ASCAT) / Z. Bartalis et al // Geophysical Research Letters. – 2007. – T. 34, № 20. (In English).
40. Visual sensing for urban flood monitoring / S.W. Lo et al // Sensors. – 2015. – T. 15, № 8. – R. 20006-20029. (In English).
41. Kaku K. Satellite remote sensing for disaster management support: A holistic and staged approach based on case studies in Sentinel Asia / K. Kaku // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2019. – T. 33. – R. 417-432. (In English).
42. https://developers.google.com/ (In English).
43. Soil Moisture Measuring Techniques and Factors Affecting the Moisture Dynamics: A Comprehensive Review / A. Sarwar et al // Sustainability. – 2022. – № 14(18). – R. 11538.mdpi.commdpi.com. (In English).
44. Deep Learning-Based Framework for Soil Moisture Content Retrieval of Bare Soil from Satellite Data / M. Dabboor et al // Remote Sensing. – 2023. – № 15(7). – R. 1916.mdpi.commdpi.com. (In English).
45. Assessing the Potential of UAV-Based Multispectral and Thermal Data to Estimate Soil Water Content Using Geophysical Methods / Y. Guan et al // Remote Sensing. – 2024. – № 16(1). – R. 61. (Published 22 Dec 2023)mdpi.commdpi.com. (In English).
46. Review of Machine Learning Approaches for Biomass and Soil Moisture Retrievals from Remote Sensing Data / I. Ali et al // Remote Sensing. – 2015. – № 7. – R. 16398-16421.mdpi.com. (In English).
47. COSMOS: The Cosmic-Ray Soil Moisture Observing System / M. Zreda et al // Hydrology and Earth System Sciences. – 2012. – № 16. – R. 4079-4099. (In English).
48. Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review / D.A. Robinson et al // Vadose Zone Journal. – 2008. – № 7(1). – R. 358-389. (In English).
49. The Soil Moisture Active Passive (SMAP) Mission / D. Entekhabi et al // Proceedings of the IEEE. – 2010. – № 98(5). – R. 704-716. (In English).
50. The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle / Y.H. Kerr et al // Proceedings of the IEEE. – 2010. – № 98(5). – R. 666-687. (In English).
51. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / N. Gorelick et al // Remote Sensing of Environment. – 2017. – № 202. – R. 18-27.sciencedirect.com. (In English).
52. ESA CCI Soil Moisture for improved Earth system monitoring: Evaluation of the Climate Data Record / W. Dorigo et al // Remote Sensing of Environment. – 2017. – № 203. – R. 185-201. (In English).
53. Soil moisture estimation through ASCAT and AMSR-E sensors: An intercomparison and validation study across Europe / L. Brocca et al // Remote Sensing of Environment. – 2011. – № 115(12). – R. 3390-3408. (In English).
54. Flood Detection and Susceptibility Mapping Using Sentinel-1 Remote Sensing Data and a Machine Learning Approach (Bagging-KNN) / H. Shahabi et al // Remote Sensing. – 2020. – № 12(2). – R. 266. (In English).

55. Influence of changes in rainfall and soil moisture on trends in flooding (study in Mediterranean region) / Y. Tramblay et al // Journal of Hydrology. – 2018. – № 560. – R. 245-258. (In English).
56. Anusha N. Flood detection and flood mapping using multi-temporal synthetic aperture radar and optical data / N. Anusha, B. Bharathi // Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. – 2020. – № 23(2). – R. 207-219. (In English).
57. Atar M. Retrieval of Soil Moisture Using Time Series of Radar and Optical Remote Sensing Data at 10 m Resolution / M. Atar, R. Shah-Hosseini, O. Ghaffari // Environ. Sci. Proc. – 2024. – № 29. – R. 75. https://doi.org/10.3390/ECRS2023-16861. (In English).
58. Chen, Y. An Improved Remote Sensing-Based Global Surface Soil Moisture Dataset (RSSSM, 2003-2020) [Dataset]. PANGAEA 2022. https://doi.org/10.1594/PANGAEA.940004. (In English).
59. Dodin A. Principal Characteristics of the Geological Structure and Genesis of the Eastern Part of the Altai-Sayan Structural Zone / A. Dodin // In Natural Conditions of the Krasnoyarsk Region; Nauka: Moskva, Russia. – 1961. – r. 99-125. (In English).
60. A Sentinel-1 SAR-Based Global 1-km Resolution Soil Moisture Data Product: Algorithm and Preliminary Assessment. Remote Sens / D. Fan et al // Environ. – 2025. – № 318. – R. 114579. https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114579. (In English).
61. Gao Y. Light Thinning Can Improve Soil Water Availability and Water Holding Capacity of Plantations in Alpine Mountains / Y. Gao et al // Front. Plant Sci. – 2022. – № 13. – R. 1032057. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1032057. (In English).
62. Ensemble of Optimised Machine Learning Algorithms for Predicting Surface Soil Moisture Content at a Global Scale / Q. Han et al // Geosci. Model Dev. – 2023. – № 16. – R. 5825-5845. https://doi.org/10.5194/gmd-16-5825-2023. (In English).
63. Understanding the Impacts of Predecessor Rain Events on Flood Hazard in a Changing Climate / A. Khatun et al // Hydrol. Process. – 2022. – № 36. – R. e14500. https://doi.org/10.1002/hyp.14500. (In English).
64. Augmenting Daily MODIS LST with AIRS Surface Temperature Retrievals to Estimate Ground Temperature and Permafrost Extent in High Mountain Asia / K.Y. Kim et al // Remote Sens. Environ. – 2024. – № 305. – R. 114075. https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114075. (In English).
65. Assessment of ERA5-Land Volumetric Soil Water Layer Product Using In Situ and SMAP Soil Moisture Observations / R. Lal et al // IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. – 2022. – № 19. – R. 2508305. https://doi.org/10.1109/LGRS.2022.3223985. (In English).
66. Kabzhanova G.R. Rakhimzhanov, B.K.; Tuleukulova, D.T. Otsenka vozmozhnostei distantsionnogo monitoringa vlazhnosti pochvy na territorii Severnogo Kazakhstana / G.R. Kabzhanova, B.K. Rakhimzhanov, D.T. Tuleukulova // Vestnik nauki KaZATU im. S.Seifullina. – 2024. – № 4(123). (In Russian).

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования по научным, научно-техническим программам на 2024-2026гг по теме «Разработка системы прогнозирования катастрофических паводков в Восточно-Казахстанской области с применением данных ДЗЗ, ГИС-технологий и машинного обучения» (ИРН BR24992899).

А.А. Бондарович[1], А. Мәуліт[2*], И.А. Очередько[3], Ж.З. Жантасова[3]
[1]Алтай мемлекеттік университеті, Алтай өлкесі,
Барнаул қаласы, Ленин даңғылы, 61
[2]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А
[3] С. Аманжолов атын. Шығыс Қазақстан университеті,
Өскемен қаласы, Қазақстан көшесі 55.
*e-mail: maulit.almas@gmail.com

СУ ТАСҚЫНЫНА БЕЙІМ АУМАҚТАҒЫ ТОПЫРАҚ ЫЛҒАЛДЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУДАҒЫ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДТАУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ: ШОЛУ

Топырақ ылғалдылығы жер үсті ағындары мен су тасқынының пайда болуында, әсіресе көктемгі қар мен қатты жауын-шашын жағдайында шешуші рөл атқарады. Шығыс Қазақстан облысы сияқты су тасқыны қаупі жоғары аумақтар үшін топырақ ылғалдылығы мониторингінің

өзектілігі артып келеді. Бұл мақалада су тасқынын болжау үшін топырақ ылғалдылығын бағалау үшін қолданылатын заманауи қашықтықтан зондтау әдістеріне (ЖҚЗ) шолу берілген. Гидрологиялық модельдерге спутниктік деректерді (SMAP, Sentinel-1/2, SMOS және т.б.) біріктірудің тиімділігін көрсететін жаһандық және аймақтық зерттеулер қарастырылды. Топырақ ылғалдылығын өлшеудің жер үсті және қашықтықтан әдістеріне салыстырмалы талдау жүргізілді, радиометрлерді, радарларды, мультиспектрлік сенсорларды, сондай-ақ ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) қолдану тәсілдері сипатталды. Деректерді өңдеу алгоритмдеріне, соның ішінде спектрлік индекстерге, Машиналық оқыту әдістеріне және нейрондық желі модельдеріне ерекше назар аударылады. Картаға түсіру және бақылау тапсырмаларында бағдарламалық жасақтаманың (Google Earth Engine, Snap, ArcGIS, QGIS) мүмкіндіктері талданады. Шолу су тасқыны туралы ерте ескертудің дәлдігін арттыруда және су тәуекелдерін тұрақты басқару үшін негіздерді қалыптастыруда ЖҚЗ әлеуетін көрсетеді.

Түйін сөздер: *топырақ ылғалдылығы, қашықтықтан зондтау, су тасқыны, спутниктік мониторинг, Шығыс Қазақстан облысы, Машиналық оқыту, нейрожелілер, ГАЖ, мультиспектралды деректер, SMAP, Sentinel.*

A.A. Bondarovich[1], A. Maulit[2*], I.A. Ocheredko[3], J.Z. Zhantasova[3]
[1]Altai State University, 61 Lenin Ave.,
Barnaul, Altai Territory
[2]Semey Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A
[3] S.Amanzholov East Kazakhstan University,
Ust-Kamenogorsk, 55 Kazakhstan Street.
*e-mail: maulit.almas@gmail.com

REMOTE SENSING TECHNOLOGIES IN ASSESSING SOIL MOISTURE IN FLOOD-PRONE AREAS: REVIEW

Soil moisture plays a key role in the formation of surface runoff and floods, especially in conditions of spring snowmelt and extreme precipitation. The relevance of soil moisture monitoring is increasing for areas with high flood risk, such as the East Kazakhstan region. This article provides an overview of modern remote sensing (remote sensing) methods used to assess soil moisture in order to predict floods. Global and regional studies demonstrating the effectiveness of integrating satellite data (SMAP, Sentinel-1/2, SMOS, etc.) into hydrological models are considered. A comparative analysis of ground-based and remote methods of measuring soil moisture is carried out, approaches using radiometers, radars, multispectral sensors, as well as unmanned aerial vehicles (UAVs) are described. Special attention is paid to data processing algorithms, including spectral indexes, machine learning methods, and neural network models. The capabilities of the software (Google Earth Engine, SNAP, ArcGIS, QGIS) in mapping and monitoring tasks are analyzed. The review highlights the potential of remote sensing in improving the accuracy of early flood warnings and laying the foundations for sustainable water risk management.

Key words: *Keywords: soil moisture, remote sensing, floods, satellite monitoring, East Kazakhstan region, machine learning, neural networks, GIS, multispectral data, SMAP, Sentinel.*

Сведения об авторах

Андрей Александрович Бондарович – кандидат географических наук, доцент кафедры экономической географии и картографии, Алтайский государственный университет; e-mail: a9130262571@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7161-2686.

Алмасбек Маулит* – докторант Шәкәрім Университеті; e-mail: maulit.almas@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0519-3222.

Игорь Александрович Очередько – Научный сотрудник технопарка «Shygys Bastau», Восточно-Казахстанский университет им. С.Аманжолова; e-mail: egor007kz@mail.ru.

Женискуль Зейнешовна Жантасова – доцент кафедры компьютерного моделирования и информационных технологий, Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова; e-mail: Zheniskul_z@mail.ru.

Авторлар туралы мәліметтер

Андрей Александрович Бондарович – география ғылымдарының кандидаты; Экономикалық география және картография кафедрасының доценті, Алтай мемлекеттік университеті; e-mail: a9130262571@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7161-2686.

Алмасбек Мәулит* – Шәкәрім Университеті докторанты; e-mail: maulit.almas@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0519-3222.

Игорь Александрович Очередько – «Shygys Bastau» технопаркінің ғылыми қызметкері, Шығыс С. Аманжолов атындағы Қазақстан университеті; e-mail: egor007kz@mail.ru.

Жантасова Женискүл Зейнешовна – компьютерлік модельдеу және ақпараттық технологиялар кафедрасының доценті; С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті; e-mail: Zheniskul_z@mail.ru.

Information about the authors

Andrey Bondarovich – candidate of Geographical Sciences; Associate Professor of the Department of economic geography and cartography, Altai State University; e-mail: a9130262571@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7161-2686.

Almasbek Maulit* – doctoral student of Shakarim University; head of the Technopark «Shygys Bastau», EKU. S. Amanzholova; e-mail: maulit.almas@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0519-3222.

Igor Alexandrovich Ocheredko – researcher of the Technopark «Shygys Bastau», East Kazakhstan University. S. Amanzholova; e-mail: egor007kz@mail.ru.

Zheniskul Zeyneshovna Zhantasova – associate professor of the Department of computer modeling and information technologies; East Kazakhstan University. S. Amanzholova; e-mail: Zheniskul_z@mail.ru.

Поступила в редакцию 07.06.2025
Поступила после доработки 11.08.2025
Принята к публикации 12.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-13

CC BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 50.41.25

А.М. Искакова[1*], О.С. Салыкова[1], Н.А. Дидарбекова[2], А.А. Артыкбаева[1]
[1]Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы,
110000, Республика Казахстан, г. Костанай, ул.А.Байтурсынова, 47
[2]Национальный центр тестирования
Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан
010011, Республика Казахстан, г. Астана, улица Родниковая 1/1
*e-mail: n.a.almira.24@gmail.com

ШКАЛИРОВАНИЕ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО АДАПТИВНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ РАША

Аннотация: *Адаптивное тестирование представляет собой один из наиболее эффективных подходов к цифровой оценке знаний, обеспечивая индивидуализацию процесса за счёт автоматического подбора заданий в зависимости от уровня подготовленности обучающегося. Основными элементами для реализации такого тестирования являются: банк шкалированных заданий, алгоритм адаптации и специализированное программное обеспечение. Формирование качественного банка заданий требует предварительного психометрического анализа, позволяющего оценить их пригодность к использованию в адаптивных системах.*

Настоящая статья посвящена эмпирическому анализу набора тестовых заданий по физике с использованием модели Раша. В ходе исследования проведена апробация заданий на репрезентативной выборке учащихся и выполнено шкалирование с применением программы Winsteps. Для каждого задания определены параметры трудности, показатели согласия с моделью и коэффициенты корреляции. Выявлены задания, не соответствующие требованиям адаптивного тестирования – они были исключены из итогового банка. В результате сформирован набор заданий, обладающих устойчивыми статистическими характеристиками и пригодных для дальнейшего использования в компьютерных адаптивных системах оценки знаний.

Представленные результаты подтверждают возможность интеграции полученного банка заданий в информационные образовательные системы и цифровые платформы. В дальнейших публикациях планируется представить алгоритмы построения адаптивного тестирования в реальном времени, а также разработку программного обеспечения для автоматической генерации тестов с учётом шкалированных параметров. Проведённая работа служит основой для создания эффективных цифровых инструментов оценки учебных достижений.

Ключевые слова: *адаптивное тестирование, модель Раша, психометрический анализ, шкалирование заданий, информационные технологии в образовании, Winsteps, автоматизированная оценка знаний.*

Введение

Компьютерное адаптивное тестирование (КАТ) является одним из наиболее перспективных направлений цифровизации оценки знаний. В отличие от традиционных методов, КАТ позволяет автоматически подбирать задания индивидуально под уровень подготовленности каждого испытуемого, тем самым обеспечивая точность измерений и сокращение времени тестирования [1]. В педагогических измерениях особое место занимает модель Раша, обеспечивающая шкалирование заданий и испытуемых на единой шкале, независимо от конкретного содержания теста. Использование данной модели в сочетании с современным программным обеспечением, таким как Winsteps, открывает возможности для формирования надёжных и объективных банков заданий. Одной из ключевых задач, стоящих перед исследователями в области КАТ, является обеспечение качества тестовых заданий, в частности: их соответствие по уровню трудности, согласованность статистик согласия с моделью, функционирование дистракторов. На практике это требует многоступенчатого психометрического анализа и статистической верификации полученных результатов [2, 3].

Целью настоящего исследования является проведение психометрического анализа тестовых заданий по физике с использованием модели Раша для формирования банка шкалированных заданий, пригодных к внедрению в цифровые адаптивные системы тестирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: провести апробацию тестовых заданий на репрезентативной выборке, выполнить анализ параметров трудности и статистик согласия с применением модели Раша, отобрать задания, удовлетворяющие критериям, обосновать применение полученных результатов в системах цифровой оценки знаний.

Материалы и методы

В педагогических измерениях анализ тестовых заданий основывается на данных, полученных эмпирическим путем. Психометрический анализ тестовых заданий - это процесс оценки статистических характеристик заданий теста с целью определения их качества и соответствия целевому назначению теста [4]. Для получения точных и объективных измерений латентных переменных в данном исследовании авторы использовали программу Winsteps. На рисунке 1 представлены этапы процесса формирования банка шкалированных тестовых заданий с последующей его интеграцией в систему компьютерного адаптивного тестирования (КАТ) [5].

Рисунок 1 – Этапы формирования банка заданий для КАТ.

Первым шагом процесса исследования теста является создание и редактирование матриц с результатами тестирования. Поскольку любое педагогическое измерение требуют обязательной корректировки исходных матриц, из полученных данных были исключены результаты экстремальных испытуемых и сформированы редуцированные матрицы для обработки в Winsteps.

В теории педагогических измерений рассматривают несколько мер трудности заданий. Первую меру трудности заданий можно рассмотреть, как отношение числа неправильных ответов на задание к числу испытуемых.

$$q_j=W_j/N,$$

где Wj – число неправильных ответов на задание под номером j и N – число испытуемых. Вторая мера определяется как отношение q_j/p_j, где p_j- доля правильных ответов. Третья мера трудности вычисляется как значение натурального логарифма отношения q_j/p_j. Полученное значение далее корректируется для построения единой шкалы уровня трудности заданий и уровня подготовленности испытуемых. Это и есть процесс шкалирования, проводимый с помощью статистического пакета Winsteps. Скорректированные в процессе шкалирования значения $\ln q_j/p_j$ являются четвертой мерой трудности. Данная мера применяется в качестве окончательной меры трудности и называется параметром трудности задания [6].

Эффективные дистракторы в тестовых заданиях, предназначенных для адаптивного тестирования, должны обладать определенными характеристиками: быть правдоподобными для испытуемых с низким уровнем подготовленности, повышать вероятность выбора неправильного ответа и при этом не снижать дифференцирующую способность задания, не вводить в заблуждение сильных испытуемых. Дистракторный анализ позволяет оценить соответствие дистракторов указанным критериям и является важным этапом процесса формирования базы тестовых заданий [7, 8].

Результаты и обсуждение

В данной работе для проведения апробации было использовано 10 вариантов тестов по физике на основе единой технологической матрицы. Содержание тестовых заданий соответствует программе курса физики для средней общеобразовательной школы. Количество заданий в одном варианте – 30 (всего использовано 300 тестовых заданий). Общее количество участников апробации – 3190. По результатам апробации в двух вариантах тестов были выявлены экстремальные испытуемые. К экстремальным испытуемым относят учащихся ответивших верно на все задания теста, уровень их подготовленности выше уровня трудности проектируемых тестов, соответственно результаты данных учащихся были исключены из исходных матриц.

В данном исследовании интерпретация результатов тестирования будет проводиться на основе модели Раша, в рамках которой, оценка уровня подготовленности испытуемых не зависит от конкретных заданий, используемых в тесте [9]. Аналогично, оценка трудности задания не зависит от конкретных испытуемых, проходящих тест. Анализ заданий будет представлен на примере одного варианта теста.

В таблицах 1 и 2 приведены результаты апробации, а именно общая статистика по испытуемым и тестовым заданиям.

Таблица 1 – Результаты апробации (испытуемые)

	Исходный балл (0-30)	Оценка уровня подготов. (в логит.)	Ошибка измерения уровня подготов.	Статистика согласия			
				$U^{(1)}$	$t^{(1)}$	$U^{(2)}_{(взвеш)}$	$t^{(2)}_{(взвеш)}$
Ср. значение	11,4	-0,55	0,42	1,00	-0,1	1,02	0,0
Ср.квадр.отклон	4,8	0,80	0,05	0,11	0,9	0,18	0,9
Макс.значение	28,0	2,75	0,74	1,37	2,4	2,04	2,4
Мин.значение	2,0	-2,74	0,38	0,74	-2,9	0,62	-2,8

Таблица 2 – Результаты апробации (задания)

	Процент решенных заданий, %	Оценка трудности заданий (в логит.)	Ошибка измерения трудности заданий.	Статистика согласия			
				$U^{(1)}$	$t^{(1)}$	$U^{(2)}_{(взвеш)}$	$t^{(2)}_{(взвеш)}$
Ср. значение	37,9	0,00	0,12	1,00	-0,4	1,02	-0,2
Ср.квадр.отклон	10,6	0,53	0,01	0,10	2,0	0,15	1,9
Макс.значение	61,5	0,92	0,14	1,26	3,4	1,44	3,7
Мин.значение	20,9	-1,12	0,12	0,86	-4,2	0,82	-3,9

Согласно данным представленным в таблицах 1 и 2, можно отметить, что уровень подготовленности учащихся, выполнявших данный вариант оказался невысоким. Средний балл испытуемых, указанный в первом столбце таблицы 1, составляет 11.4 Во втором столбце указанных таблиц представлены значения оценок трудности заданий и уровней подготовленности испытуемых в логитах. Уровень подготовленности учащихся, проходивших апробацию данного теста, значительно отличается: самый подготовленный испытуемый имеет оценку уровня подготовленности Ө=2,75, слабо подготовленный Ө=-2,74. Числовые значения уровней трудности заданий во втором столбце таблицы 2 показывают их *относительную трудность*, так самое легкое задание имеет уровень трудности ß=-1,12, самое трудное ß=0,92. В третьем столбце таблиц содержатся значения среднеквадратичных ошибок вычисления оценок. Из представленных данных следует отметить, что ошибка измерения для заданий невелика, среднее значение ошибки измерения по тестовым заданиям составляет 0,12, по испытуемым 0,42. Высокая точность при оценивании

параметров заданий может объяснятся тем, что количество участников тестирования в 10 раз больше количества заданий, а точность результатов обеспечивается достаточным объемом выборки. В последних столбцах таблиц представлены данные о статистиках согласия, которые характеризуют согласие экспериментальных данных, полученных во время апробации с используемой моделью измерения. Как правило - это общие статистики согласия и их стандартизированные версии, математические ожидания значений общих статистик согласия равны 1, стандартизированных – 0. Значения средних статистик согласия представленные в таблицах 1 и 2 указывают на то, что большая часть заданий и испытуемых находятся в хорошем согласии с моделью, о чем свидетельствуют их близкие значения к ожидаемым. Вместе с тем максимальные значения статистик согласия, превышающие критические значения демонстрируют наличие заданий и испытуемых, находящихся в плохом согласии с моделью. Результаты данных заданий будут проанализированы ниже.

Статистические данные по заданиям теста приведены в таблице 3. Задания расположены в порядке убывания уровня трудности. В первом столбце указан номер задания, в следующих двух столбцах оценка трудности задания в логитах и ошибка измерения трудности задания. Согласно представленным данным самые трудные задания - №19 и №29: их уровни трудности ß=0,92 и 0,87 соответственно, ошибка измерения у обоих заданий равна – 0,14. Самое легкое задание №12, его уровень трудности ß=-1,12, ошибка измерения – 0,12. Далее в 4-х столбцах представлены значения статистик согласия U(1), t(1), U(2), t(2), их средние значения представлены в таблицах 1 и 2. Коэффициент корреляции баллов по заданию с общим баллом по тесту приведен в последнем столбце.

Таблица 3 – Результаты апробации

Номер задания	Трудность задания (логит)	Ошибка измерения	Статистики согласия				Коэф. корреляции
			$U^{(1)}$	$t^{(1)}$	$U^{(2)}$	$t^{(2)}$	
19	0.92	0,14	1,05	0,7	1,03	0,3	0,26
29	0.87	0,14	1,26	3,2	1,44	3,7	-0,1
1	0.66	0,13	1,03	0,5	0,99	-0,1	0,3
24	0.62	0,13	1,24	3,4	1,36	3,6	0,04
25	0.59	0,13	1,14	2,1	1,33	3,4	0,14
28	0.55	0,13	1,05	0,8	1,03	0,4	0,28
11	0.43	0,13	1,03	0,6	1,04	0,5	0,30
21	0.41	0,13	1,06	1,0	1,07	0,9	0,27
22	0.38	0,13	1,15	2,6	1,20	2,5	0,15
23	0.37	0,13	1,07	1,3	1,10	1,3	0,25
30	0.36	0,13	0,99	-0,2	1,00	0,0	0,35
17	0.35	0,12	1,05	0,9	1,11	1,4	0,27
20	0.14	0,12	1,08	1,6	1,10	1,5	0,25
15	0.13	0,12	0,91	-1,9	0,89	-1,8	0,45
6	0.02	0,12	0,97	-0,7	0,98	-0,2	0,38
26	-0.01	0,12	0,96	-1,0	0,95	-0,9	0,40
5	-0.04	0,12	0,92	-1,9	0,92	-1,5	0,44
13	-0.15	0,12	0,97	-0,8	0,95	-1,0	0,39
27	-0.17	0,12	1,03	0,7	1,03	0,5	0,32
18	-0.30	0,12	0,99	-0,3	0,98	-0,4	0,36
7	-0.37	0,12	0,86	-4,0	0,84	-3,4	0,51
4	-0.43	0,12	0,89	-3,2	0,87	-2,7	0,48
3	-0.44	0,12	0,90	-2,8	0,94	-1,3	0,45
9	-0.46	0,12	0,91	-2,6	0,90	-2,2	0,45
16	-0.50	0,12	0,96	-1,0	0,97	-0,7	0,39
8	-0.57	0,12	0,88	-3,4	0,86	-3,0	0,48
2	-0.68	0,12	0,86	-4,2	0,82	-3,9	0,52
14	-0.72	0,12	0,92	-2,3	0,89	-2,2	0,44
10	-0.84	0,12	1,01	0,2	0,99	-0,1	0,33
12	-1.12	0,12	0,95	-1,2	0,99	-0,2	0,38

Анализ данных таблицы 3 показывает, что эмпирическое распределение трудностей заданий, полученное в ходе апробации, отличается от предполагаемого (теоретического) распределения. Вероятной причиной указанного несоответствия является многомерность теста, обусловленная содержательной разнородностью заданий по физике. Для выяснения причин расхождения эмпирических и теоретических данных необходимо провести углублённый анализ целой группы заданий и пересмотреть их распределение по уровням трудности.

Для выявления некорректных тестовых заданий могут быть использованы статистики согласия, позволяющие оценить соответствие ответов испытуемых ожиданиям модели. В литературе по педагогическим измерениям рекомендуют для общих статистик $U^{(1)}$ и $U^{(2)}$ выбирать в качестве правого критического значения – 1,5, левого – 0,5, а для стандартизированных статистик $t^{(1)}$) и $t^{(2)}$ – значения -2 и 2 [10]. Данные таблицы 3 указывают на то, что большинство заданий теста имеют хорошее согласие с моделью. Вместе с тем, тест содержит задания, параметры которых значительно превышают рекомендованные, например тестовое задание №29. Значения статистик согласия $t^{(1)}$) и $t^{(2)}$ у данного задания больше правых критических, следует обратить внимание и на отрицательное значение коэффициента корреляции. Аналогичные проблемы с завышенными значениями статистик согласия наблюдаются у заданий №22,24,25. Из перечисленных тестовых заданий наиболее проблемным является задание №29. Низкие результаты хорошо подготовленных испытуемых и отрицательный коэффициент корреляции, могут свидетельствовать о наличии проблемы в условии задания или коде правильного ответа. Анализ тестового задания №29, включая дистракторный анализ будет представлен ниже.

Из рисунка 2 видно, что график задания № 29 сильно отличается от теоретической кривой: большинство эмпирических точек находятся вне модельной кривой и часть из них вне доверительного коридора. Более того, испытуемые с низким уровнем подготовленности выполнили это задание лучше, чем испытуемые с высоким уровнем подготовленности. Задание абсолютно не дифференцирует испытуемых по уровню подготовленности. Это задание находится в плохом согласии с ответами испытуемых на другие задания теста. На рисунке 2 для сравнения приведен график задания №13. Данное задание является заданием среднего уровня трудности, все критерии согласия которого находятся в допустимых пределах. Уровень трудности задания – (-0,15). Коэффициент корреляции составил 0,39, что говорит о хорошей дифференцирующей способности задания. Задание №13 демонстрирует хорошее согласие с моделью.

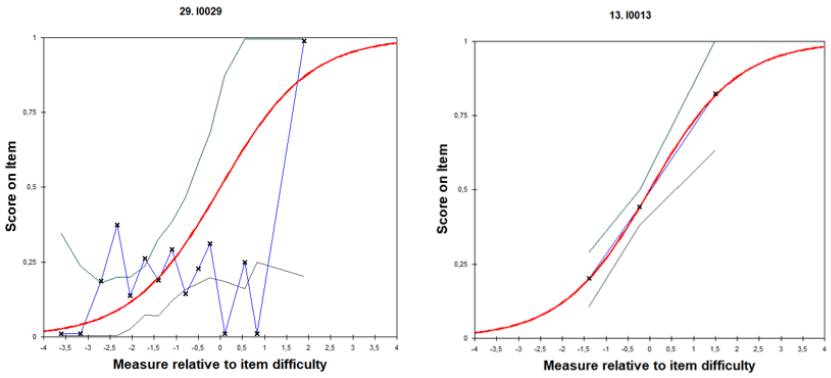


Рисунок 2 – Графики задании № 29 и № 13

Как отмечалось ранее, необходимым условием для определения качества тестовых заданий является проведение дистракторного анализа. Дистракторный анализ позволяет определить эффективность подбора всех ответов, прилагаемых к каждому заданию теста. Без дистракторного анализа ни тестов, ни педагогических измерений не бывает [8]. По итогам дистракторного анализа было установлено, что большинство дистракторов теста сформулированы корректно и функционируют должным образом. Согласно требованиям тестологии, дистрактор считается корректным и работающим если его выбирают не менее 5% учащихся. На рисунке 3 приведены данные по вариантам ответов на задания № 13 и № 29.

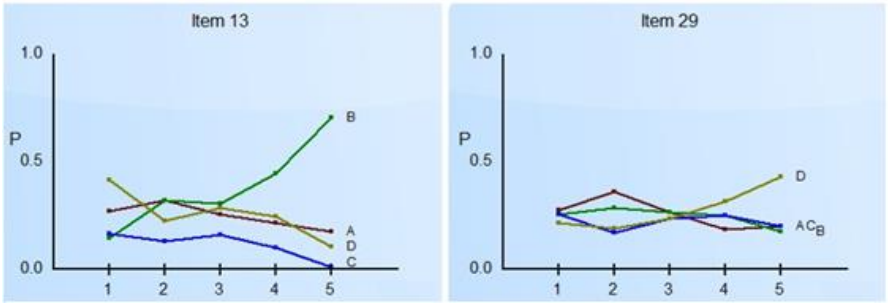


Рисунок 3 – Выбор вариантов ответов

В левой части рисунка 3 показана графическая интерпретация дистракторов для задания № 13. Зеленая линия (B) указывает на правильный ответ. 140 учащихся дали верный ответ на данное задание, что составляет 48% от общего числа испытуемых. Как видно из представленного рисунка сильные учащиеся правильно ответили на тестовое задание: чем выше уровень подготовленности испытуемых, тем выше у них вероятность правильного ответа. Слабые учащиеся выбрали неверные варианты ответов (A,C,D). Еще одним подтверждением верного функционирования вариантов ответов является отрицательное значение коэффициента корреляции у дистракторов, и его положительное значение у правильного ответа.

По результатам дистракторного анализа задания № 29 можно отметить, что правильный вариант ответа (вариант C) выбрали 75 испытуемых, что составляет лишь 22% от общего количества, отрицательное значение коэффициента корреляции правильного ответа свидетельствует о том, что выбирали правильный ответ учащиеся с низким уровнем подготовленности, а учащиеся с высоким уровнем подготовленности выбирали вариант D. Для выяснения причин такого функционирования задания рассмотрим данное задание с его подробным решением. Задание № 29 относится к заданиям на основе контекста. В качестве контеста здесь представлено описание лазерной указки с параметрами. В таблице 4 приведен контекст, условие задания и ход решения задания с пояснениями.

Таблица 4 – Тестовое задание № 29 с решением

Контекст	Задание №29	Решение задания
Лазерная указка представляет собой компактное устройство, создающее узкий световой пучок за счёт вынужденного излучения. Часто она используется для демонстраций и указаний на объекты на расстоянии. Лазеры могут генерировать свет в широком диапазоне длин волн. В стандартной лазерной указке мощность светового излучения составляет 5 мВт, а длина волны – 650 нм (красный лазер). Для питания устройства используется батарея с ЭДС 1,5 В. При работе указка потребляет электрическую мощность 0,1 Вт.	29. При непрерывной работе лазерной указки в течение 3 минут выделится тепловая энергии в количестве A) 0,9 Дж B) 16,2 Дж C) 17,1 Дж D) 18,0 Дж Правильный ответ: C	Находим общую энергию, потребленную указкой: Энергия (E) = Мощность (P) × Время (t) E = Рпотр × t = 0,1 Вт × 180 с = **18 Дж** Находим энергию излучения лазера: Еизл = Ризл × t = 0,005 Вт × 180 с = 0,9 Дж Находим тепловую энергию: По закону сохранения энергии, потребленная энергия идет на излучение и тепло: E = Еизл + Q Q = E - Еизл = 18 Дж - 0,9 Дж = **17,1** Дж

Повторная экспертиза тестового задания № 29 показала, что задание корректное, код правильного ответа соответствует варианту C. Вероятной причиной низких характеристик задания является сложность представленной темы, невнимательность испытуемых при его решении. Как представлено в таблице 4, вариант D, является хорошо подобранным правдоподобным, но неправильным ответом, и представляет собой только общую потребляемую энергию. Для расчета тепловой энергии следует применить закон сохранения энергии, который не применили подготовленные учащиеся. Таким образом, в данном задании следует отметить мастерство разработчика заданий, который смог хорошо подобрать

неправильные, но правдоподобные варианты ответов. Следует также отметить, что задание №29 – это задание высокого уровня трудности. Как правило задания высокого уровня трудности характеризуют воспроизведение более сложных знаний и навыков, распознавание более сложных моделей заданий, интегрирование знаний, умений и навыков.

В рамках данного исследования программой Winsteps была рассчитана надежность результатов тестирования. В педагогической литературе тест считается надежным, если значение коэффициента альфа Кронбаха не менее 0,7. Во всех использованных вариантах значение коэффициента надежности находилось в пределах от 0,7 до 0,78, что свидетельствует о достаточной степени надежности проектируемых тестов.

Формирование базы шкалированных тестовых заданий по физике с использованием модели Раша послужило основой для разработки автоматизированной системы адаптивного тестирования. Автоматизированная система состоит из нескольких функциональных модулей: модуль формирования тестов, модуль сбора и обработки ответов учащихся, интерфейс администратора и интерфейс пользователя. В системе реализована ветвящаяся стратегия, при которой отбор заданий осуществляется непосредственно из базы с опорой на алгоритмы, прогнозирующие оптимальный уровень трудности последующего задания на основе результатов выполнения предыдущих. Такой подход обеспечивает индивидуализацию траектории тестирования и повышение точности оценки уровня подготовленности учащихся. Отличительной особенностью варьирующей ветвящейся стратегии адаптивного тестирования является пошаговая переоценка уровня подготовленности учащихся, осуществляемая после выполнения очередного тестового задания.

Варьирующая стратегия адаптивного тестирования включает три основных компонента, реализуемых последовательно на каждом этапе тестирования. Во-первых, осуществляется определение априорной оценки уровня подготовленности учащегося, во-вторых, производится отбор тестового задания, оптимального по своим параметрам с точки зрения соответствия текущему уровню подготовленности учащегося, и в-третьих, по результатам выполнения задания вычисляется апостериорная оценка уровня подготовленности, используемая для адаптации последующих шагов тестирования. Алгоритм, реализующий варьирующую стратегию, носит циклический характер и представлен на рисунке 4.

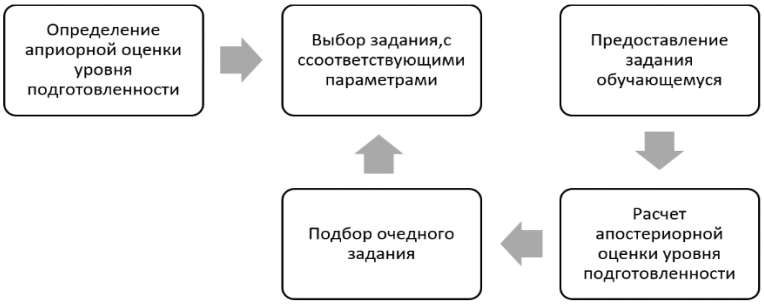


Рисунок 4 – Алгоритм варьирующего многошагового тестирования

Эффективность адаптивного тестирования, основанного на данной стратегии, определяется не только точностью подбора заданий по уровню их трудности, но и выбором априорной оценки уровня подготовленности учащегося, от которой зависит траектория теста на его начальных этапах. Стратегия адаптивного тестирования, основанная на модели Раша и априорной оценке уровня подготовленности, обеспечивает возможность индивидуализированного подбора заданий уже на начальных этапах формирования адаптивного теста. Выбор модели Раша обусловлен рядом методологических и прикладных факторов. В отличие от двух- (2PL) и трёхпараметрических (3PL) моделей теории IRT, модель Раша предполагает, что вероятность правильного ответа зависит *исключительно* от разности между уровнем подготовленности обучающегося и трудностью задания. При этом дифференцирующая способность заданий и вероятность угадывания рассматриваются как фиксированные параметры, что обеспечивает интерпретируемость шкалы, инвариантность оценок и упрощает процесс шкалирования заданий. В таблице 5 представлены ключевые различия между моделями по критериям интерпретируемости, сложности оценки параметров, вычислительных затрат и устойчивости к объему выборки.

Таблица 5 – Сравнение моделей IRT

Параметр	Модель Раша	2PL-модель	3PL-модель
Кол-во параметров на задание	1 (трудность задания)	2 (трудность, дифференцирующая способность)	3 (включая угадывание)
Сложность оценки	Низкая	Средняя	Высокая
Интерпретируемость	Высокая	Средняя	Ниже средней
Вычислительные затраты	Низкие	Средние	Высокие
Подходит для адаптивного тестирования	Да (простота реализации)	Да, но сложнее	Да, но ресурсоёмкая
Устойчивость при малых выборках	Высокая	Ниже	Низкая

Согласно данным, представленным в таблице, модель Раша требует меньших выборок для устойчивой оценки параметров, что особенно важно на начальных этапах разработки адаптивных тестов. Несмотря на ограничения по гибкости, её использование оправдано при построении базовой структуры адаптивного тестирования и позволяет обеспечить высокую надёжность измерений при соблюдении требований к *качеству заданий*.

Заключение

Исследование, проведенное с помощью программы Winsteps, позволило всесторонне оценить качество тестовых заданий. Полученные результаты подтверждают, что большинство заданий соответствуют предъявляемым требованиям и рекомендованы для использования в адаптивном тестировании. Выявленные случаи отклонений были тщательно проанализированы, что позволило внести соответствующие изменения и дополнения в задания для повышения качества инструмента.

Дополнительная экспертиза, проведенная по итогам апробации тестовых заданий, позволила выявить пробелы, которые коснулись не только тестологии, но и подготовленности учащихся. По итогам исследования было выявлено, что у большинства учащихся вызывали затруднения:

– задания по оптике, учащиеся не полностью понимают основные концепции волновой природы света;

– трудности с интерпретацией графиков: даже если учащиеся могут прочитать график, они испытывают трудности с интерпретацией его значений, не понимают взаимосвязи между переменными, не могут делать правильные выводы на основе данных.

По результатам апробации было проанализировано 10 вариантов тестов по физике. Определены параметры 300 тестовых заданий, из которых 278 рекомендованы для использования в адаптивном тестировании. 22 тестовых задания следует пересмотреть и провести повторную апробацию, так как данные задания (например, задание №29) вызвали затруднения у учащихся с высоким уровнем подготовленности. По итогам психометрического анализа 27 тестовых заданий (9%) были отредактированы, внесены незначительные изменения в условия заданий, дополнены графики и рисунки 3-х тестовых заданий, изменены дистракторы 15 тестовых заданий. 278 тестовых заданий в дальнейшем рекомендуется использовать в адаптивном тестировании с сохранением первоначального уровня трудности.

Результаты проведенного исследования могут быть положены в основу разработки цифровых систем адаптивного тестирования, интегрируемых в современные LMS (Learning Management Systems) и образовательные платформы. Алгоритмизированный подход к отбору и шкалированию заданий с применением модели Раша и инструмента Winsteps позволяет формировать банк тестовых заданий с объективной мерой трудности, пригодной для автоматического подбора заданий на основе уровня подготовленности обучающегося. Указанные инструменты обеспечивает совместимость систем управления базами данных с аналитическими системами, позволяя накапливать и обрабатывать большие массивы данных об обучении и оценке учебных достижений. В перспективе данная методология может быть расширена с использованием методов искусственного интеллекта для построения персонализированных траекторий обучения.

Список литературы

1. Liu Q. Survey of Computerized Adaptive Testing: A Machine Learning Perspective. [Электрон. ресурс]. – 2024. – URL: https://arxiv.org/pdf/2404.00712 (дата обращения 12.12.2024).
2. Developing of computerized adaptive testing to measure physics higher order thinking skills of senior high school students and its feasibility of use / E. Istiyono et al // European Journal of Educational Research. – P. 180-183: https://doi.org/10.12973/eu-jer.9.1.91.
3. Бондаренко С.В. Использование ИИ для построения адаптивных тестов в цифровых платформах / С.В. Бондаренко, С.В. Мальцева // Информационные технологии в образовании. – 2023. – № 4. – С. 12-21.
4. Аванесов В.С. Критерии качества педагогических измерений [Электрон. ресурс]. – 2021. URL*:* https://testolog.narod.ru/Theory75.html *(*дата обращения: 02.03.2025).
5. Бунимович А.Г. Информационные технологии адаптивного тестирования: алгоритмы и архитектура систем / А.Г. Бунимович, Н.С. Герасимова, И.Ю. Шевченко // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2021. – №19(3). – С. 50-65.
6. Аванесов В.С. Item response theory: основные понятия и положения, [Электрон. ресурс]. – 2020. – URL*:* https://testolog.narod.ru/Theory67.html (дата обращения: 13.03.2025 г.).
7. Челышкова М.Б. Теоретико-методологические и технологические основы адаптивного тестирования в образовании: дис. док. пед. наук: 13.00.01 / Челышкова Марина Борисовна. – Москва, 2001. – С. 324.
8. Аванесов В.С. Дистракторный анализ, [Электрон. ресурс]. – 2005 - *URL:* https://testolog.narod.ru/Theory46.html (дата обращения: 20.02.2025 г.).
9. Adegoke B.A. Comparison of Item Statistics of Physics Achievement Test using Classical Test and Item Response Theory Frameworks, Institute of Education / B.A. Adegoke // Journal of Education and Practice, University of Ibadan, Nigeria. – 2013. – № 22.
10. Нейман Ю.М. Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов / Ю.М. Нейман, В.А. Хлебников. – Москва, 2000. – 165 с.

References

1. Liu Q. Survey of Computerized Adaptive Testing: A Machine Learning Perspective. [Ehlektron. resurs]. – 2024. – URL: https://arxiv.org/pdf/2404.00712 (data obrashcheniya 12.12.2024). (In English).
2. Developing of computerized adaptive testing to measure physics higher order thinking skills of senior high school students and its feasibility of use / E. Istiyono et al // European Journal of Educational Research. – R. 180-183: https://doi.org/10.12973/eu-jer.9.1.91. (In English).
3. Bondarenko S.V. Ispol'zovanie II dlya postroeniya adaptivnykh testov v tsifrovykh platformakh / S.V. Bondarenko, S.V. Mal'tseva // Informatsionnye tekhnologii v obrazovanii. – 2023. – № 4. – S. 12-21. (In Russian).
4. Avanesov V.S. Kriterii kachestva pedagogicheskikh izmerenii [Ehlektron. resurs]. – 2021 - URL: https://testolog.narod.ru/Theory75.html (data obrashcheniya: 02.03.2025). (In Russian).
5. Bunimovich A.G. Informatsionnye tekhnologii adaptivnogo testirovaniya: algoritmy i arkhitektura sistem / A.G. Bunimovich, N.S. Gerasimova, I.YU. Shevchenko // Vestnik NGU. Seriya: Informatsionnye tekhnologii. – 2021. – №19(3). – S. 50-65. (In Russian).
6. Avanesov V.S. Item response theory: osnovnye ponyatiya i polozheniya, [Ehlektron. resurs]. – 2020 – URL: https://testolog.narod.ru/Theory67.html (data obrashcheniya: 13.03.2025 g.). (In Russian).
7. Chelyshkova M.B. Teoretiko-metodologicheskie i tekhnologicheskie osnovy adaptivnogo testirovaniya v obrazovanii: dis. dok. ped. nauk: 13.00.01 / Chelyshkova Marina Borisovna. – Moskva, 2001. – C. 324. (In Russian).
8. Avanesov V.S. Distraktornyi analiz, [Ehlektron. resurs]. – 2005 – URL: https://testolog.narod.ru/Theory46.html (data obrashcheniya: 20.02.2025 g.). (In Russian).
9. Adegoke B.A. Comparison of Item Statistics of Physics Achievement Test using Classical Test and Item Response Theory Frameworks, Institute of Education / B.A. Adegoke // Journal of Education and Practice, University of Ibadan, Nigeria. – 2013. – № 22. (In English).
10. Neiman YU.M. Vvedenie v teoriyu modelirovaniya i parametrizatsii pedagogicheskikh testov / YU.M. Neiman, V.A. Khlebnikov. – Moskva, 2000. – 165 s. (In Russian).

А.М. Искакова[1*], О.С. Салыкова[1], Н.А. Дидарбекова[2], А.А. Артыкбаева[1]
[1]Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті,
110000 Қазақстан Республикасы, Қостанай қ, А. Байтұрсынов көшесі 47
[2]Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі
«Ұлттық тестілеу орталығы»,
010011 Қазақстан Республикасы, Астана қ, Родниковый көшесі 1/1
*e-mail: n.a.almira.24@gmail.com

ФИЗИКА ПӘНІНЕН ТЕСТ ТАПСЫРМАЛАРЫН RASCH МОДЕЛІ НЕГІЗІНДЕ КОМПЬЮТЕРЛІК АДАПТИВТІК ТЕСТІЛЕУ ҮШІН ШКАЛАЛАУ

Адаптивті тестілеу – білімді цифрлық бағалаудың ең тиімді тәсілдерінің бірі болып табылады, себебі ол тапсырмаларды оқушының дайындық деңгейіне байланысты автоматты түрде іріктеу арқылы бағалау үдерісін жекешелендіруге мүмкіндік береді. Мұндай тестілеуді жүзеге асырудың негізгі элементтері: шкалаланған тапсырмалар банкі, адаптивтеу алгоритмі және арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету. Сапалы тапсырмалар банкін қалыптастыру үшін оларды адаптивті жүйелерде қолдануға жарамдылығын бағалауға мүмкіндік беретін алдын ала психометриялық талдау қажет.

Бұл мақала физика пәні бойынша тест тапсырмалары жиынтығын Раш моделі негізінде эмпирикалық талдауға арналған. Зерттеу барысында тапсырмалар репрезентативті оқушылар іріктемесінде апробациядан өтіп, Winsteps бағдарламасы арқылы шкалалау жүргізілді. Әр тапсырма бойынша күрделілік параметрлері, модельмен сәйкестік көрсеткіштері және корреляциялық сипаттамалар анықталды. Адаптивті тестілеу талаптарына сәйкес келмейтін тапсырмалар анықталып, қорытынды банк құрамынан алынып тасталды. Нәтижесінде, статистикалық тұрғыдан тұрақты сипаттамаларға ие және білімді компьютерлік адаптивті жүйелерде бағалауға жарамды тапсырмалар жиынтығы қалыптастырылды.

Ұсынылған нәтижелер алынған тапсырмалар банкін ақпараттық білім беру жүйелері мен цифрлық платформаларға интеграциялау мүмкіндігін растайды. Алдағы жарияланымдарда нақты уақыт режимінде адаптивті тестілеу құру алгоритмдерін, сондай-ақ шкалаланған параметрлерді ескере отырып, тесттерді автоматты түрде құрастыратын бағдарламалық жасақтаманы әзірлеу жоспарлануда. Жүргізілген жұмыс оқу жетістіктерін бағалауға арналған тиімді цифрлық құралдарды жасауға негіз болады.

Түйін сөздер: *адаптивті тестілеу, Раш моделі, психометриялық талдау, тапсырмаларды шкалалау, білім берудегі ақпараттық технологиялар, Winsteps, білімді автоматтандырылған бағалау.*

A. Iskakova[1*], O. Salykova[1], N. Didarbekova [2], A. Artykbaeva[1]
[1]A. Baitursynov Kostanay Regional University,
110000 Republic of Kazakhstan, Kostanay, st. Baitursynov 47,
[2]National Testing Center of the Ministry of Science and
Higher Education of the Republic of Kazakhstan
010011 Republic of Kazakhstan, Astana, Rodnikovaya 1/1 st.
*e-mail: n.a.almira.24@gmail.com

SCALING PHYSICS TEST ITEMS FOR COMPUTERIZED ADAPTIVE TESTING BASED ON THE RASCH MODEL

Adaptive testing is one of the most effective approaches to digital knowledge assessment, providing personalization through the automated selection of test items tailored to the examinee's proficiency level. The key components of such testing include: a bank of scaled test items, an adaptation algorithm, and specialized software. Developing a high-quality item bank requires preliminary psychometric analysis to evaluate their suitability for use in adaptive systems.

This article presents an empirical analysis of a set of physics test items using the Rasch model. The study involved piloting the items on a representative sample of students, followed by scaling using the Winsteps software. For each item, difficulty parameters, model-fit indices, and correlation characteristics were determined. Items that did not meet the requirements of adaptive testing were identified and excluded from the final bank. As a result, a set of items with stable statistical properties was formed, suitable for further use in computerized adaptive knowledge assessment systems.

The findings confirm the feasibility of integrating the developed item bank into educational information systems and digital platforms. Future publications will present real-time adaptive testing algorithms and the development of software for automated test generation based on scaled parameters. This study lays the groundwork for creating effective digital tools for assessing learning outcomes.

Key words: *adaptive testing, Rasch model, psychometric analysis, item scaling, educational technology, Winsteps, automated knowledge assessment.*

Сведения об авторах

Альмира Мухтаровна Искакова* – докторант кафедры «Программного обеспечения» Костанайского регионального университета имени Ахмет Байтұрсынұлы, Республика Казахстан; e-mail: n.a.almira.24@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-4288-9774.

Ольга Сергеевна Салыкова – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Программного обеспечения» Костанайского регионального университета имени Ахмет Байтұрсынұлы, Республика Казахстан; e-mail: solga0603@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8681-4552.

Наужан Абдисатаровна Дидарбекова – кандидат филологических наук; Национальный центр тестирования, Республика Казахстан; e-mail: nauzhan.didarbekova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7085-324X.

Асель Айдарбековна Артыкбаева – докторант кафедры «Программного обеспечения» Костанайского регионального университета имени Ахмет Байтұрсынұлы, Республика Казахстан; e-mail: assel4896@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2233-092X.

Авторлар туралы мәліметтер

Альмира Мухтаровна Искакова* – «Бағдарламалық қамтамасыз ету» кафедрасының докторанты; Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: n.a.almira.24@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-4288-9774.

Ольга Сергеевна Салыкова – техника ғылымдарының кандидаты, «Бағдарламалық қамтамасыз ету» кафедрасының қауымдастырылған профессоры; Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: solga0603@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8681-4552.

Наужан Абдисатаровна Дидарбекова – филология ғылымдарының кандидаты; Ұлттық тестілеу орталығы, Қазақстан; e-mail: nauzhan.didarbekova@mail.ru. ORCID: 0000-0002-7085-324X

Асель Айдарбековна Артыкбаева – «Бағдарламалық қамтамасыз ету» кафедрасының докторанты; Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: assel4896@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2233-092X.

Information about the authors

Almira Iskakova* – doctoral student of the department of Software Engineering; A. Baitursynov Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan; e-mail: n.a.almira.24@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-4288-9774.

Olga Salykova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Software Engineering Department, A. Baitursynov Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan; e-mail: solga0603@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8681-4552.

Nauzhan Didarbekova – Candidate of Philological Sciences; National Testing Center, Kazakhstan; e-mail: nauzhan.didarbekova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7085-324X.

Assel Artykbaeva – doctoral student of the department of Software Engineering; A. Baitursynov Kostanay Regional University, Republic of Kazakhstan; e-mail: assel4896@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2233-092X.

Поступила в редакцию 03.06.2025
Поступила после доработки 16.08.2025
Принята к публикации 18.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-14

МРНТИ: 81.93.29

CC BY 4.0
Check for updates

Н.А. Бажаев[1,2], А.К. Шайханова[1*], Д.Ж. Сатыбалдина[1], К.С. Бакенова[1]
[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қ. Сәтпаев көшесі, 2
[2]«Мемлекеттік техникалық қызмет» акционерлік қоғамы,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Мәңгілік Ел даңғылы, 55 В
*e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz

IEEE 802.15.4 ЖЕЛІЛЕРІНДЕ ҚАУІПСІЗДІКТІ ҮЗДІКСІЗ МОНИТОРИНГІЛЕУДІҢ ЗИЯТКЕРЛІК ӘДІСІ АДАПТИВТІ АНОМАЛИЯЛАР ТАЛДАУЫ НЕГІЗІНДЕ

Аңдатпа: *IEEE 802.15.4 стандарты бойынша сымсыз желілердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету – Заттар интернетін (IoT) дамытудың негізгі міндеттерінің бірі болып табылады. IoT құрылғыларының есептеу ресурстары шектеулі болғандықтан, криптографиялық механизмдерге және детерминирленген шектерге негізделген дәстүрлі шабуылдарды анықтау әдістері әрдайым қажетті қорғаныс деңгейін қамтамасыз ете бермейді.*

Осы зерттеуде трафикті желілік мониторингтеудің жаңа бейімделмелі әдісі ұсынылады. Бұл әдіс үлгі көлемін ескеретін түрлендірілген Z-бағалауды және шабуыл ықтималдығын динамикалық түрде түзететін бейімделмелі Байес классификаторын біріктіреді. NS-3 ортасында генерацияланған деректер негізінде жүргізілген эксперименттік сынақтар ұсынылған әдістің шабуылдарды анықтау дәлдігі бойынша дәстүрлі тәсілдерден асып түсетінін көрсетті: жалған іске қосу көрсеткіші 10.9%-дан 3.8%-ға дейін төмендеді.

Ұсынылған гибридтік модель 94.7% классификация дәлдігін және 91.8% шабуылды анықтау толықтығын қамтамасыз етеді, бұл стандартты Байес классификаторымен салыстырғанда 6.3%-ға жоғары. Алынған нәтижелер IoT желілерінің қауіпсіздігін нақты уақыт режимінде бақылау жүйелерінде бұл әдісті қолданудың болашағы зор екенін көрсетеді. Дамытылған тәсіл желілік ортаның өзгеруіне бейімделуге мүмкіндік береді және кездейсоқ флуктуациялардың әсерін азайтады, бұл оны энергияны аз тұтынатын желілерді қорғауға арналған тиімді шешім етеді.

Түйін сөздер: *Ақпараттық қауіпсіздік, дербес желілер, IEEE 802.15.4, IoT, шабуылды анықтау, Z-бағалау, Байес классификаторы, машиналық оқыту, желіні мониторингтеу.*

1 Кіріспе

Қазіргі заманғы Заттар интернеті (IoT) технологиялары қарқынды дамып келеді, бұл көптеген зияткерлік құрылғылардың сымсыз өзара әрекеттесуін қамтамасыз етеді. Энергияны аз тұтынатын IoT-желілерінің негізінде жатқан негізгі стандарттардың бірі – ZigBee, 6LoWPAN және WirelessHART сияқты протоколдарда қолданылатын IEEE 802.15.4 стандарты. Бұл технологиялар өнеркәсіптік автоматтандыруда, ақылды қалаларда, қашықтан бақылау жүйелерінде және денсаулық сақтау саласында кеңінен қолданылады [1]. Алайда құрылғылар санының өсуі мен желі топологиясының күрделене түсуі ақпараттық қауіпсіздік саласында айтарлықтай сын-қатерлер туындатады.

IoT сымсыз желілерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі ең маңызды аспектілердің бірі – мәліметтердің құпиялылығын, тұтастығын және қолжетімділігін (CIA) қорғау болып табылады. Құрылғылардың жеткіліксіз қорғалуы мен сенімді мониторинг механизмдерінің болмауы IEEE 802.15.4 желілерін қызмет көрсетуден бас тарту (DoS), жалған пакеттерді енгізу, сәйкестендіру деректерін қолдан жасау және трафикті талдау сияқты түрлі шабуылдарға осал етеді [2]. Мұндай шабуылдар IoT-инфрақұрылымының жұмысын бұзып қана қоймай, сонымен қатар құпия ақпараттың таралуына әкелуі мүмкін, бұл әсіресе өнеркәсіптік және медициналық қолданбалар үшін өте маңызды.

Қауіпсіздікті қамтамасыз етуге арналған қазіргі қолданыстағы тәсілдер, оның ішінде криптографиялық әдістер, желілік мінез-құлықты талдау және машиналық оқыту алгоритмдері бірқатар шектеулерге ие. Атап айтқанда, трафикті мерзімді талдау шабуылдарды дер кезінде анықтауға әрдайым мүмкіндік бермейді, ал есептеу шығындарының жоғары болуы ресурстары шектеулі құрылғылардың жұмыс істеу қабілетіне кері әсерін тигізуі мүмкін [3]. Бұдан бөлек, статикалық қауіпсіздік саясаты желідегі динамикалық өзгерістерді ескермейді, бұл олардың тиімділігін төмендетеді [4].

Осы зерттеуде IEEE 802.15.4 желісінің жағдайын тұрақты бақылауға арналған әдістеме ұсынылады. Бұл әдіс трафик параметрлерін статистикалық талдауға және құрылғылар арасындағы өзара әрекеттестікке мінез-құлықтық аналитика жүргізуге негізделген. Әзірленіп жатқан модель деректерді беру процесіндегі ауытқуларды анықтауға бағытталған, бұл ықтимал қауіптерді көрсетуі мүмкін. Зерттеудің негізгі мақсаты – аномалияларды бейімделмелі түрде анықтай алатын және нақты уақыт режимінде жұмыс істей алатын, бірақ көп есептеу ресурстарын қажет етпейтін механизм құру арқылы IoT-желілерінің шабуылдарға төзімділігін арттыру [5].

2 Міндет қою

Зерттеу IEEE 802.15.4 желілерін қорғаудың қолданыстағы механизмдерінің тиімділігінің төмендігі мәселесін шешуге бағытталған. Бұл мәселе желілік белсенділіктегі өзгерістерді жеткілікті деңгейде бақылаудың болмауымен байланысты. Ғылыми шешімді қажет ететін негізгі сын-қатерлерге шабуылдарды дер кезінде анықтау қажеттілігі, жалған іске қосылуларды азайту, желінің динамикалық жағдайларына бейімделу және IoT тораптарындағы есептеу жүктемесін төмендету жатады [6].

Қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін келесі міндеттерді орындау қажет:

IEEE 802.15.4 желілеріндегі бар осалдықтарды егжей-тегжейлі талдау, ең жиі кездесетін шабуыл түрлерін анықтау және бұзушылар жүйені бұзу үшін қолданатын трафиктің негізгі параметрлерін айқындау [7].

Желілік белсенділікті талдауға арналған әдістеме әзірлеу, ол деректер ағынының статистикалық сипаттамаларына және желі тораптарының мінез-құлқына негізделіп, қалыпты жұмыс істеуден ауытқуларды анықтауға мүмкіндік береді.

Желілік трафиктің ықтималдық сипаттамаларын және құрылғылар арасындағы өзара әрекеттестіктерді ескере отырып, аномалияларды анықтауға арналған математикалық модель құру [8].

Ұсынылған әдісті нақты IoT құрылғыларында эксперименттік зерттеу, оның тиімділігін, шабуылдарды анықтау дәлдігін және есептеу күрделілігін бағалау.

IoT-тың қолданыстағы қауіпсіздік жүйелеріне ұсынылған әдісті біріктіру бойынша ұсыныстар әзірлеу, бұл олардың киберқауіптерге төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеудің күтілетін нәтижесі – есептеу шығындарын айтарлықтай арттырмай, нақты уақыт режимінде қауіптерді анықтай алатын IEEE 802.15.4 желілерін мониторингтеудің бейімделмелі механизмін жасау. Дайындалған модель шабуылдарды анықтау дәлдігі мен жалған іске қосылу деңгейінің төмендігі арасындағы теңгерімді қамтамасыз етуі тиіс, бұл оны IoT қолданбаларының кең ауқымында қолдануға мүмкіндік береді.

3 Ұсынылатын әдіс

IEEE 802.15.4 стандарты бойынша сымсыз желілердің қауіпсіздік деңгейін арттыру үшін осы жұмыста модификацияланған Z-бағалау мен бейімделмелі Байес классификаторы негізіндегі гибридті шабуылдарды анықтау әдісі ұсынылады. Ұсынылған тәсілдерді қолдану аномалияларды анықтау дәлдігін арттырып, жалған іске қосылулар санын минимизациялауға және желідегі динамикалық өзгерістерге жүйені бейімдеуге мүмкіндік береді.

1. Модификацияланған Z-бағалау аномальды пакет-терді анықтау үшін:

Z-бағалау – деректердегі статистикалық ауытқушылықтарды анықтаудың негізгі құралы. Классикалық тұр-де (1) ол былай есептеледі:

$$Z = \frac{X-\mu}{\sigma} \quad (1)$$

мұндағы: X – ағымдағы өлшенген мән,
μ – таңдаманың орташа мәні,
σ – стандартты ауытқу.

Дегенмен дәстүрлі Z-бағалау таңдаманың көлемі N-ді ескермейді, бұл оны шағын деректер пакеттерін талдағанда тұрақсыз етеді. IEEE 802.15.4 сымсыз желілерінде берілетін деректер көлемі жүктеме мен белсенді тораптардың санына байланысты айтарлықтай өзгеруі мүмкін. Осы факторларды ескеру үшін модификацияланған (2) Z-бағалау енгізіледі:

$$Z' = \frac{X-\mu}{\sigma} \times \frac{1}{1+\frac{1}{\sqrt{N}}} \quad (2)$$

Бұл әдістемелік тәсіл мына мүмкіндіктерді береді:

– Шағын таңдамалардың әсерін азайту – N аз болған жағдайда түзету коэффициенті $\frac{1}{1+\frac{1}{\sqrt{N}}}$ Z-бағалаудың кенет өзгерістерін төмендетеді.

– Динамикалық түрде өзгеретін IoT-желілерінде аномалияларды тұрақты анықтауды қамтамасыз ету.

– Кішкентай таңдамалардағы статистикалық ауытқулардан туындайтын жалған дабылдар санын азайту.

Классикалық статистикада Z-бағалау мәндері 2 немесе 3-тен жоғары болса, олар аномалия деп есептеледі. Алайда біздің әдістемемізде шек желідегі деректердің өзгергіштігіне байланысты динамикалық түрде орнатылады. Бұл құрылғылардың мінез-құлқын нақты уақыт режимінде ескере отырып, қате дабылдардың пайда болу ықтималдығын төмендетеді.

2. Шабуыл ықтималдығын бағалау үшін бейімделмелі Байес классификаторы: Байес классификаторы келіп түсетін деректер негізінде шабуыл ықтималдығы P(A|X) есептеу үшін қолданылады. Классикалық түрде (3) формуласын қолданады:

$$P(A|X) = \frac{P(X|A)P(A)}{P(X)} \quad (3)$$

мұндағы: *P(A/X)* – байқалған аномалияның шабуылмен байланыстылығы ықтималдығы,
P(X/A) – Шабуыл болған жағдайда X бақылау ықтималдығы,
P(A) – Шабуылдың апріогі ықтималдығы,
P(X) – Деректерде X-тің пайда болу ықтималдығы.

Алайда бұл модель ауытқулардың маңыздылығын есепке алмайды, сондықтан ол маңызды шабуылдарға әлсіз сезімтал болады [9]. Осы кемшілікті жою үшін бейімделмелі салмақ енгізіледі (4):

$$P(A|X) = \frac{P(X|A)P(A)}{P(X)} \times W(X) \quad (4)$$

мұндағы: *W(X)* – Z-бағалауға байланысты салмақ коэффициенті.

2.1 Салмақтардың динамикалық жаңартылуы: W(X) мәні ауытқушылық дәрежесі Z-ге байланысты түзетіледі (5):

$$W(X)\begin{cases} 1, \text{ егер } |Z'| < 2, \\ 1.5, \text{ егер } 2 \le |Z'| < 3, \\ 2, \text{ егер } |Z'| \ge 3. \end{cases} \quad (5)$$

Бұл механизм:

Маңызды ауытқулардың шабуыл ықтималдығына әсерін күшейтуге мүмкіндік береді.

Трафиктің елеусіз тербелістеріне сезімталдықты төмендетеді.

IoT-желісінің өзгермелі орта жағдайларына бейімделуді қамтамасыз етеді [10].

IEEE 802.15.4 желісінде қауіп-қатерлерді анықтау алгоритмі:

Өзіміз ұсынған шабуылдарды анықтау әдісі желілік трафикті статистикалық талдау мен бейімделмелі Байес классификаторы негізінде нақты уақыт режимінде жұмыс істейді және келесі кезеңдерді қамтиды:

– Деректерді жинау. Белгіленген уақыт аралығында желілік трафик мониторингі жүргізіледі. Әр пакет үшін көлемі, уақыт таңбалары, жіберушілер мен алушылар және қолданылатын протоколдар секілді негізгі параметрлер тіркеледі.

– Модификацияланған Z-бағалауды есептеу. Әр пакеттің желінің қалыпты мінез-құлқынан ауытқуын, таңдаманың көлеміне бейімделген түзету коэффициенті арқылы анықтаймыз. Бұл ықтимал аномалияларды көрсетіп, кездейсоқ флуктуациялардың әсерін азайтуға мүмкіндік береді.

– Шабуыл ықтималдығын бағалау. Алынған Z-бағалау негізінде пакет аномалия дәрежесіне сәйкес шабуыл ықтималдығын түзететін бейімделмелі Байес классификаторы қолданылады.

– Шешім қабылдау. Егер апостериорлық шабуыл ықтималдығы P(A|X)P(A | X)P(A|X) алдын ала орнатылған шек *T*-дан асса, жүйе шабуыл бар екенін тіркеп, тиісті жауап шараларын іске қосады. Әйтпесе, мониторингті жалғастырып, дабыл шығармайды.

– Параметрлерді бейімдеу. Жүйе жұмыс барысында шекті мәндер мен классификатор салмақ коэффициенттерін динамикалық түрде жаңартып, желі ортасының өзгеруіне бейімделеді.

Ұсынылған алгоритм жоғары шабуылдарды анықтау дәлдігі мен төмен жалған дабылдар деңгейін қамтиды [11], бұл оны IEEE 802.15.4 сымсыз желілерін қорғауда тиімді шешім етеді.

3. Ұсынылған әдістің артықшылықтары:

Дәстүрлі шабуылды анықтау әдістерімен салыстырғанда, әзірленген тәсіл бейімделгіштігі, жоғары дәлдігі және желідегі динамикалық өзгерістерге төзімділігі арқасында бірқатар маңызды артықшылықтарға ие.

Икемділік. Әдіс таңдаманың көлемін және трафик сипаттамаларының өзгеруін ескере отырып, шабуылды анықтау параметрлерін нақты уақыт режимінде түзетуге мүмкіндік береді.

Бейімделгіштік. Динамикалық салмақ коэффициенті бар Байес классификаторы пакеттердегі аномалия дәрежесіне қарай шабуыл ықтималдығын реттеп, қауіп-қатерді дәл анықтауды қамтамасыз етеді.

Жалған дабылдарды азайту. Z-бағалауға түзеткіш көбейткіш енгізу желілік трафиктің кездейсоқ флуктуацияларының әсерін төмендетеді, бұл жоғары вариативті деректері бар сымсыз IoT-желілерінде аса маңызды.

Жоғары сезімталдық. Бейімделгіш Байес классификаторы критикалық шабуылдардың маңыздылығын күшейтіп, жүйеге есептеу ресурстарын айтарлықтай арттырмай-ақ ықтимал қауіп-қатерлерге дер кезінде әсер етуге мүмкіндік береді.

4. Қазіргі заманғы машиналық оқыту әдістерімен байланысы:

Әзірленген әдістемелік амал аномалияларды анықтау және желілік қауіпсіздік жүйелерінде қолданылатын қазіргі заманғы интеллектуалды деректерді талдау әдістерімен тығыз байланысты:

– Адаптивті кездейсоқ ормандар (Adaptive Random Forests). Шабуылдарды анықтау параметрлерін динамикалық түрде жаңартып отыруға қолданылады, бұл өзгермелі орта жағдайларын ескеруге мүмкіндік береді..

– Градиенттік бустинг (Gradient Boosting). Желі трафигінің өзгерістерімен байланысты белгілердің маңыздылығын автоматты түрде түзету үшін қолданылады; бұл біздің бейімделмелі Байес классификаторындағы салмақты түзетуге ұқсас.

– Уақыттық қатарларды статистикалық сүзу әдістері. Таңдаманың көлемін ескере отырып, шынымен тыс мәндерді түзету жұмысын қамтиды, бұл модификацияланған Z-бағалаудағы тәсілге параллель.

Желілік қауіпсіздік аясында осындай әдістерді пайдалану модельді жиі қайта оқытпай-ақ жаңа шабуылдарға бейімделетін интеллектуалды қорғаныс механизмдерін жасауға мүмкіндік береді. Әзірленген тәсіл адаптивті статистикалық әдістер мен ықтималдық моделдеудің артықшылықтарын үйлестіріп, жоғары дәлдік, сенімділік және есептеу тиімділігін қамтамасыз етеді, бұл оны нақты сымсыз IoT-желілерінде қолдануға үмітті етеді [12].

4 Эксперимент жүргізу

Эксперимент ұсынылған шабуылдарды анықтау әдісінің IEEE 802.15.4 сымсыз желілерінде тиімділігін тексеруге бағытталды. Зерттеу барысында анықтау дәлдігі, толықтық (recall), ерекшелік (specificity) және жалған срабатываниелер коэффициенті талданды.

Ұсынылған тәсілді верификациялау үшін IEEE 802.15.4 желілерін модельдеу үшін бейімделген NS-3 симуляциялық ортасы құрылды. Симуляцияға 50 торап қатысты, AODV протоколы қолданылды, орташа беру жылдамдығы 250 Кбит/с болды. Аномалияларды бағалау үшін қарастырылған терезе ұзындығы – 1000 пакет. Шабуылдарды модельдеу үшін желінің тұтастығына, құпиялылығына және қолжетімділігіне бағытталған ең таралған сценарийлер қолданылды: селективті глушение, флудинг және кадрларды подмена [13]. Жалпы 50 000 пакет өңделді, оның 15%-ында әдісті сынау мақсатында енгізілген шабуылдар болды.

Таңдаманың параметрлері (1 сурет):

Timestamp – пакетті жіберу уақыт таңбасы.

Packet_Size – пакет көлемі (байтпен).

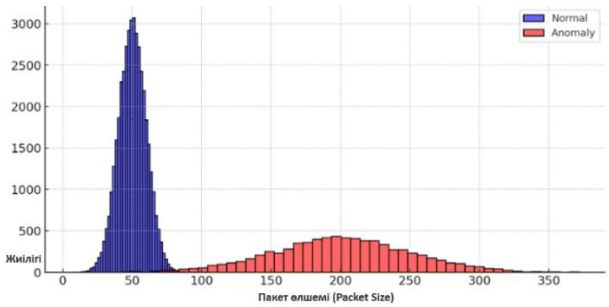
Source_IP – жіберушінің IP-мекенжайы.

Destination_IP – алушының IP-мекенжайы.

Protocol – протокол түрі (TCP, UDP, ZigBee).

Anomaly_Score – аномалия дәрежесінің көрсеткіші (модификацияланған Z-бағалау).

Label – пакет түрі («Normal» немесе «Anomaly»).



Сурет 1 – Қалыпты және аномальды трафик үшін пакет көлемдерінің таралымы

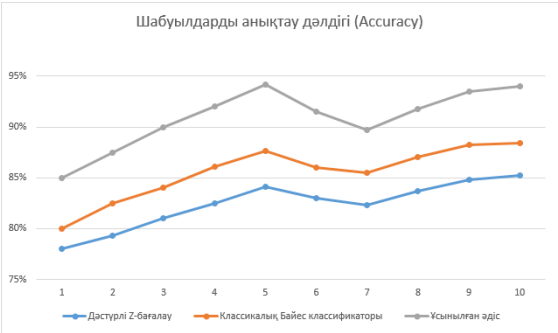
– Пакет өлшемдерінің таралуы – аномальды пакеттердің (қызыл) өлшемі қалыпты пакеттерге (көк) қарағанда әлдеқайда үлкен екенін көрсетеді.

– Трафикті салыстыруға арналған Boxplot – қалыпты және аномальды пакеттер арасындағы медиандық мәндер мен шеткі мәндердің айырмашылығын көрсетеді.

– Протоколдардың таралуы – деректер жиынтығындағы TCP, UDP және ZigBee протоколдарының қолданылу жиілігін көрсетеді.

– Трафиктегі аномалиялардың үлесі – пакеттердің 15%-ы аномальды деп белгіленген (қызыл сектор).

Ұсынылған әдістің тиімділігін бағалау дәстүрлі Z-бағалауымен және бейімделусіз классикалық Байес классификаторымен салыстыру арқылы жүргізілді. Әрбір тәсіл үшін дәлдік, толықтық, спецификалық және жалған іске қосылу коэффициенті есептелді. Эксперимент барысында 10 минут бойы желілік трафик тіркеліп, әрбір пакет үшін динамикалық түзетуді ескеретін модификацияланған Z-бағалау есептелді, адаптивті Байес классификаторы негізінде шабуыл ықтималдығы анықталды және болжанған мәндердің нақты деректер белгілеріне сәйкестігі тексерілді (2 сурет).



Сурет 2 – Тарификтегі аномалиялардың ұсынылған әдісті қолданғанда жіктеудің дәлдігі

Алынған нәтижелерді талдау көрсеткендей, ұсынылған шабуылдарды анықтау әдісі базалық тәсілдермен салыстырғанда жоғары көрсеткіштер көрсетті. Эксперименттік деректерге сәйкес, ұсынылған әдісті қолдану кезінде классификация дәлдігі 94.7% құрады, бұл классикалық Байес классификаторынан 6.3%-ға және дәстүрлі Z-бағалауынан 9.5%-ға жоғары. Шабуылдарды анықтау толықтығы 91.8% болды, бұл әдістің желілік түйіндердің мінез-құлқындағы ауытқуларға жоғары сезімталдығын көрсетеді. Әдістің спецификалығы 96.2%-ға жетті, бұл жалған дабылдарды барынша азайту қабілетін білдіреді. Сонымен қатар, жалған іске қосылу коэффициенті дәстүрлі Z-бағалаудағы 10.9%-дан ұсынылған әдісте 3.8%-ға дейін төмендеді (1-кесте), бұл оның кездейсоқ ауытқуларға төзімділігін дәлелдейді.

Кесте 1 – Ұсынылған әдіс пен салыстырылған әдістердің нәтижелері

Әдіс	Шабуылдарды анықтау дәлдігі (Accuracy)	Толықтық (Recall)	Ерекшелік (Specificity)	Жалған іске қосылу коэффициенті (FPR)
Дәстүрлі Z-бағалау	85.2%	78.6%	89.1%	10.9%
Классикалық Байес классификаторы	88.4%	82.1%	90.5%	9.5%
Ұсынылған әдіс	94.7%	91.8%	96.2%	3.8%

Бейімделетін салмақ коэффициентін Байес классификаторына енгізу шабуылдарды анықтау сапасын жақсартуға ықпал ететіні қосымша талдау нәтижесінде анықталды, себебі бұл әдіс ауытқулардың маңыздылығын ескере отырып, ықтималдықтарды динамикалық түрде түзетуге мүмкіндік береді. Таңдаманың көлеміне тәуелділікті модификацияланған Z-бағалауға қосу шудың деңгейін төмендетіп, болжамдардың дәлдігін арттырды [14].

Осылайша, эксперимент нәтижелері ұсынылған тәсілдің тиімділігін растайды. Модификацияланған Z-бағалау мен бейімделетін Байес классификаторына негізделген гибридті модель шабуылдарды анықтаудың жоғары дәлдігін, жалған іске қосылу деңгейінің төмендігін және желінің өзгермелі жұмыс жағдайларына бейімделу қабілетін көрсетеді. Әзірленген әдіс IEEE 802.15.4 желілерінің қауіпсіздігін бақылау үшін келешегі зор шешім болып табылады және деректердің құпиялылығына, тұтастығына және қолжетімділігіне қауіп төндіретін шабуылдардан сымсыз Интернет заттар жүйелерін қорғауға қолданылуы мүмкін.

5 Қорытынды

Осы жұмыста IEEE 802.15.4 стандарты бойынша сымсыз желілердегі шабуылдарды анықтауға арналған әдіс әзірленді. Бұл әдіс модификацияланған Z-бағалау мен бейімделетін Байес классификаторын біріктіреді. Ұсынылған тәсілдің басты артықшылығы – желілік трафик параметрлерінің өзгеруіне динамикалық бейімделу қабілеті, бұл қауіптерді анықтау дәлдігін арттыруға және жалған дабылдардың санын азайтуға мүмкіндік береді [15]. Z-бағалауға таңдаманың көлеміне байланысты түзетуді енгізу кездейсоқ ауытқулардың әсерін азайтады, ал Байес классификаторындағы салмақ функциясы жүйенің маңызды аномалияларға реакциясын күшейтеді.

Эксперименттік нәтижелер ұсынылған әдістің стандартты тәсілдерден артықшылығын көрсетті. Орташа классификация дәлдігі – 94,7%, шабуылды анықтау толықтығы – 91,8%, ерекшелігі – 96,2%, ал жалған іске қосылу коэффициенті 3,8%-ға дейін төмендеді, бұл дәстүрлі Z-бағалауға қарағанда 2,5 есе жақсы. Графикалық талдау қалыпты және аномальды трафиктің мінез-құлқындағы айтарлықтай айырмашылықты растады, бұл таңдалған талдау әдістерінің тиімділігін дәлелдейді.

Әзірленген әдістеме IoT-желілердің қауіпсіздігін бақылау жүйелерінде қолдануға жарамды, бұл жерде шабуылдарды жоғары дәлдікпен және минималды есептеу шығындарымен анықтау аса маңызды. Болашақта бұл модельді машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып кеңейтуге болады, бұл шекті мәндерді автоматты түрде реттеуге және күрделі шабуылдарды болжауға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Security and Privacy in the Industrial Internet of Things: Current Standards and Future Challenges / T. Gebremichael et al // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 152351-152366.
2. Sadikin F. ZigBee IoT Intrusion Detection System: A Hybrid Approach with Rule-based and Machine Learning Anomaly Detection / F. Sadikin, S. Kumar // Proc. of Int. Conf. on Security. – 2020. – P. 57-68.
3. Choudhary S. Internet of Things: Protocols, Applications and Security Issues / S. Choudhary, G. Meena // Procedia Computer Science. – 2022.
4. Kampourakis V. A systematic literature review on wireless security testbeds in the cyber-physical realm / V. Kampourakis, V. Gkioulos, S. Katsikas // Computers & Security. – 2023. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404823002936.
5. Ullah I. A two-level flow-based anomalous activity detection system for IoT networks / I. Ullah, Q.H. Mahmoud // Electronics. – 2020. – Vol. 9, № 3. – URL: https://www.mdpi.com/2079-9292/9/3/530.
6. Murugesan K.V.N. Comprehensive Security Analysis and DoS Attack Mitigation in Thread Networks / K.V.N. Murugesan, T. Master // Proc. IEEE WCNC. – 2025. – P. 1-7.
7. Morillo Fuetala D.G. Detecting targeted interference in the Internet of Things / D.G. Morillo Fuetala. – University College Cork, 2024.
8. Aljohani R. AI-Based Intrusion Detection for a Secure Internet of Things (IoT) / R. Aljohani, A. Bushnag, A. Alessa // Journal of Network and Systems Management. – 2024. – Vol. 32. – Art. 56.
9. A Survey on IoT Ground Sensing Systems for Early Wildfire Detection / C.C. Chan et al // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 172785-172819.
10. Kumari T.A. Tachyon: Enhancing stacked models using Bayesian optimization for intrusion detection / T.A. Kumari, S. Mishra // Egyptian Informatics Journal. – 2024. – Vol. 27. – Art. 100520.

11. Khayyat M.M. Improved bacterial foraging optimization with deep learning based anomaly detection in smart cities / M.M. Khayyat // Alexandria Engineering Journal. – 2023. – Vol. 75. – P. 407-417.
12. Sorostinean R. Anomaly Detection in Smart Industrial Machinery Through Hidden Markov Models and Autoencoders / R. Sorostinean, Z. Burghelea, A. Gellert // IEEE Access. – 2024. – P. 1-1.
13. Isong B. Insights into Modern Intrusion Detection Strategies for IoT Ecosystems / B. Isong, O. Kgote, A. Abu-Mahfouz // Electronics. – 2024. – Vol. 13. – Art. 2370.
14. Energy-aware and self-adaptive anomaly detection scheme based on network tomography / W. Wang et al // Information Sciences. – 2013. – Vol. 220. – P. 580-602.
15. Identification of Attacks against Wireless Sensor Networks Based on Behaviour Analysis / V. Korzhuk et al // Journal of Wireless and Ubiquitous Computing. – 2019. – Vol. 10, № 2. – P. 1-21.

Алғыс білдіру

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен орындалды (грант № AP25794699).

Н.А. Бажаев[1,2], А.К. Шайханова[1*], Д.Ж. Сатыбалдина[1], К.С. Бакенова[1]
[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, улица К. Сатпаева, 2
[2]АО «Государственная техническая служба»,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, проспект Мангилик Ел, 55 В
*e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ МЕТОД ПОСТОЯННОГО МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ В СЕТЯХ IEEE 802.15.4 НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОГО АНАЛИЗА АНОМАЛИЙ

Обеспечение безопасности беспроводных сетей стандарта IEEE 802.15.4 является одной из ключевых задач в развитии Интернета вещей (IoT). Учитывая ограниченные вычислительные ресурсы IoT-устройств, традиционные методы обнаружения атак, основанные на криптографических механизмах и детерминированных порогах, не всегда обеспечивают достаточный уровень защиты. В данной работе предлагается новый метод адаптивного мониторинга сетевого трафика, который сочетает модифицированную Z-оценку с учетом размера выборки и адаптивный Байесовский классификатор с динамической корректировкой вероятности атаки. Экспериментальное тестирование на данных, сгенерированных в среде NS-3, показало, что предложенный метод превосходит традиционные подходы по точности обнаружения атак, снижая коэффициент ложных срабатываний с 10.9% до 3.8%. Гибридная модель обеспечивает 94.7% точности классификации и 91.8% полноты обнаружения атак, что на 6.3% выше, чем у стандартного Байесовского классификатора. Полученные результаты демонстрируют перспективность использования предложенного метода в системах реального времени для мониторинга безопасности IoT-сетей. Разработанный подход позволяет адаптироваться к изменяющейся сетевой среде, снижая влияние случайных флуктуаций, что делает его эффективным решением для защиты сетей с низким энергопотреблением.

Ключевые слова: *Информационная безопасность, персональные сети, IEEE 802.15.4, IoT, обнаружение атак, Z-оценка, Байесовский классификатор, машинное обучение, сетевой мониторинг.*

N. Bazhayev[1,2], A. Shaikhanova[1]*, D. Satybaldina[2], K. Bakenova[1]
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University,
010000, Republic of Kazakhstan, Satbayev Street, Astana,
[2]State Technical Service JSC,
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Mangilik El Avenue, 55 B
*e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz

INTELLIGENT METHOD OF CONTINUOUS SECURITY MONITORING IN IEEE 802.15.4 NETWORKS BASED ON ADAPTIVE ANOMALY ANALYSIS

Securing IEEE 802.15.4 wireless networks is one of the key challenges in the development of the Internet of Things (IoT). Given the limited computational resources of IoT devices, traditional attack detection methods based on cryptographic mechanisms and deterministic thresholds do not always provide a sufficient

level of protection. In this paper, we propose a novel method for adaptive network traffic monitoring that combines a modified Z-score with sample size consideration and an adaptive Bayesian classifier with dynamic attack probability adjustment. Experimental testing on data generated in an NS-3 environment shows that the proposed method outperforms traditional approaches in terms of attack detection accuracy, reducing the false positive rate from 10.9% to 3.8%. The hybrid model provides 94.7% classification accuracy and 91.8% attack detection completeness, which is 6.3% higher than the standard Bayesian classifier. The obtained results demonstrate the promising use of the proposed method in real-time systems for monitoring the security of IoT networks. The developed approach allows adapting to the changing network environment, reducing the influence of random fluctuations, which makes it an effective solution for protecting low-power networks.

Key words: *Information security, personal networks, IEEE 802.15.4, IoT, attack detection, Z-score, Bayesian classifier, machine learning, network monitoring*

Сведения об авторах

Нуржан Аманкулулы Бажаев – постдокторант; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева; АО «Государственная техническая служба», г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: nurzhan_nfs@hotmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4820-6132.

Айгуль Кайрулаевна Шайханова* – PhD, профессор кафедры «Информационная безопасность», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Дина Жагыпаровна Сатыбалдина – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: dinasaty@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0291-4685.

Камила Сериковна Бакенова – докторант кафедры «Информационная безопасность», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: bakenova.ks@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-2567-173X.

Авторлар туралы мәліметтер

Нуржан Аманкулулы Бажаев – постдокторант; Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, «Мемлекеттік техникалық қызмет» АҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e+mail: nurzhan_nfs@hotmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4820-6132.

Айгуль Кайрулаевна Шайханова* – PhD, «Ақпараттық қауіпсіздік» кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Дина Жагыпаровна Сатыбалдина – физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: dinasaty@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0291-4685.

Камила Сериковна Бакенова – «Ақпараттық қауіпсіздік» кафедрасының докторанты; Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: bakenova.ks@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-2567-173X.

Information about the authors

Nurzhan Bazhayev – postdoctoral fellow; L.N. Gumilyov Eurasian National University, State Technical Service JSC; Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: nurzhan_nfs@hotmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4820-6132.

Aigul Shaikhanova* – PhD, Professor of the Information Security Department; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Dina Satybaldina – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: dinasaty@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0291-4685.

Kamila Bakenova – PhD student of the Information Security Department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: bakenova.ks@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-2567-173X.

Редакцияға енуі 22.07.2025
Өңдеуден кейін түсуі 14.08.2025
Жариялауға қабылданды 15.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-15

BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 20.01.07

К.Е. Икласова[*], А.К. Шайханова[2], М.Ж. Базарова[3], Р.М. Ташибаев[1], А.М. Айтымова[1]
[1]Северо-Казахстанский университет имени М.Козыбаева,
150000, Республика Казахстан, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86
[2]Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
100000, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Сатбаева, 2
[3]Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова,
070002, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. 30-й Гвардейской дивизии, 34
* e-mail: keiklasova@ku.edu.kz

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

***Аннотация**. Стремительный переход к цифровому образованию выявил фундаментальные ограничения линейных, «конвейерных» платформ, которые предлагают всем обучающимся идентичный контент. Такие системы не способны учитывать индивидуальные различия в уровне начальной подготовки, когнитивных стилях, скорости усвоения материала и предпочтениях в форматах контента, что снижает общую эффективность обучения. Данная статья посвящена решению этой проблемы через разработку и описание формализованной математической модели адаптивной образовательной системы. Предложенный подход основан на векторном представлении как обучающегося, так и учебных материалов в едином многомерном пространстве признаков. Центральным элементом модели является интерпретируемая функция полезности (U), которая в режиме реального времени оценивает и выбирает оптимальный следующий учебный модуль для конкретного студента. Функция находит баланс между несколькими педагогически значимыми критериями: потенциальным приростом знаний (G), когнитивной нагрузкой (E) и соответствием формату (M). Ключевой особенностью является встроенный механизм машинного обучения (онлайн-обучение), который итеративно обновляет вектор знаний обучающегося на основе его результатов, позволяя системе непрерывно адаптироваться. Для валидации модели был проведен численный эксперимент, который подтвердил, что система способна делать нетривиальный выбор, находя оптимальный баланс между всеми факторами и корректно отслеживая прогресс обучающегося. Таким образом, предложенная модель представляет собой прозрачный и гибкий фреймворк для создания нового поколения интеллектуальных обучающих систем, способных выстраивать по-настоящему персонализированные и эффективные образовательные траектории.*

***Ключевые слова:** искусственный интеллект, математическая модель, образовательная траектория, машинное обучение, персонализация, векторное представление, функция полезности, интеллектуальная система обучения.*

Введение

Переход к цифровым образовательным платформам открыл новые возможности для индивидуализации обучения. Однако большинство существующих систем по-прежнему используют линейный, «конвейерный» подход, предоставляя всем обучающимся одинаковый контент в одинаковой последовательности. Такой подход не учитывает индивидуальные различия в уровне начальной подготовки, когнитивных стилях, скорости усвоения материала и предпочтениях в форматах контента [1-3].

Применение технологий искусственного интеллекта (ИИ) позволяет преодолеть эти ограничения. Системы, основанные на ИИ, способны анализировать данные о поведении обучающегося и динамически адаптировать образовательную траекторию, предлагая наиболее релевантные и эффективные учебные материалы в каждый момент времени [4,5].

Целью данной работы является разработка и описание формальной математической модели адаптивной образовательной системы, способной автоматически подстраивать учебный процесс под индивидуальные потребности каждого обучающегося. В отличие от существующих концептуальных описаний или сложных моделей типа «черный ящик», данная статья фокусируется на строгом и интерпретируемом математическом аппарате, лежащем в основе принятия решений такой системой.

Проблема адаптации обучения активно исследовалась в рамках концепции интеллектуальных обучающих систем (Intelligent Tutoring Systems, ITS). Ранние ITS часто базировались на жестко заданных правилах, созданных экспертами в предметной области. Такие системы были трудоемки в разработке, плохо масштабировались и с трудом поддавались модификации [6,7].

С развитием машинного обучения появились более гибкие подходы. Например, модели на основе отслеживания знаний (Knowledge Tracing, KT), в частности байесовские сети, оценивают вероятность знания обучающимся определенных концепций и динамически обновляют эту оценку после каждого ответа. Однако классические KT-модели, как правило, фокусируются исключительно на уровне знаний, игнорируя другие важные аспекты, такие как предпочтения в форматах контента или когнитивная нагрузка [8, 9].

Другим мощным инструментом является обучение с подкреплением (Reinforcement Learning, RL), которое используется для выстраивания оптимальной долгосрочной политики предоставления материалов с целью максимизации итогового результата обучения. Несмотря на высокую эффективность, RL-модели часто являются «черными ящиками», что затрудняет интерпретацию принимаемых ими решений и не позволяет понять, почему студенту был предложен тот или иной материал [10-12].

Предлагаемая в данной статье модель стремится восполнить этот пробел. Она предоставляет унифицированный и прозрачный математический фреймворк, который комплексно учитывает знания, предпочтения и сложность материала при принятии решения, в отличие от узкоспециализированных подходов, и сохраняет интерпретируемость, в отличие от моделей «черного ящика».

Методы исследования

Для решения поставленной задачи предлагается использовать векторное представление сущностей системы в многомерном пространстве признаков.

1. Модель обучающегося (Вектор V_L)

Состояние обучающегося L_j в момент времени t описывается вектором $V_L(t) \in R^d$. Данный вектор является конкатенацией нескольких под-векторов:

$$V_L(t) = \left[K^{(t)}, P, \lambda\right]$$

Где:

- $K^{(t)} = \{k_1, k_2, \dots, k_p\} \in [0,1]^p$ – вектор уровня знаний по p дидактическим единицам (темам, компетенциям).
- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_q\} \in [0,1]^q$ – вектор когнитивных предпочтений к q форматам контента (например, видео, текст).
- $\lambda \in R^+$ – скалярный коэффициент скорости обучения.

2. Модель контента (Вектор V_C)

Каждый учебный материал c_k также описывается вектором $V_{C_k}(t) \in R^d$

$$V_{C_k} = [D, F, R]$$

Где:

- $D = \{d_1, d_2, \dots, d_p\} \in [0,1]^p$ – вектор сложности, описывающий, насколько глубокие знания по каждой из p тем дает данный модуль.
- $F = \{f_1, f_2, \dots, f_q\} \in \{0,1\}^q$ – бинарный вектор формата (one-hot encoding).
- $R = \{r_1, r_2, \dots, r_p\} \in [0,1]^p$ – вектор необходимых предварительных знаний для освоения модуля.

3. Адаптационная стратегия: выбор на основе функции полезности

Выбор оптимального следующего учебного модуля c^* осуществляется путем максимизации функции полезности U. Для каждого доступного модуля c_k система рассчитывает его полезность для текущего состояния обучающегося $V_L(t)$:

$$c^* = \underset{c_k \in C}{argmax}\, U(V_L(t), V_{C_k})$$

Функция полезности U определяется как взвешенная сумма нескольких критериев:

$$U(V_L, V_C) = w_1 \cdot G(K, D) - w_2 \cdot E(K, R) + w_3 \cdot M(P, F)$$

Где w_1, w_2, w_3 – весовые коэффициенты, а компоненты функции рассчитываются следующим образом: прирост знаний – $G(K, D) = D \cdot (1 - K)^T$ мотивирует выбор материала, который покрывает еще не изученные темы; требуемые усилия – $E(K, R) = || \max(0, R - K) |$

l_2 штрафует за выбор материала, для которого у студента не хватает предварительных знаний, соответствие формату – $M(P,F) = P \cdot F^T$поощряет выбор материала в предпочитаемом студентом формате.

4. Динамическое обновление модели обучающегося

После взаимодействия обучающегося с выбранным модулем c^* с результатом $O \in [0,1]$ (например, оценка за тест), вектор его знаний K(t) обновляется. Этот шаг реализует механизм машинного обучения (online learning), позволяя модели адаптироваться на основе новых данных.

$$K^{(t+1)} = K^{(t)} + \Delta K.$$

Прирост знаний ΔK рассчитывается по формуле:

$$\Delta K = \eta \cdot \lambda \cdot O \cdot \left(D^* - K^{(t)}\right) \odot D^*$$

Где η — общий коэффициент скорости обучения, а $\odot$ – поэлементное умножение (произведение Адамара).

Результаты исследования

Для валидации предложенной модели был проведен численный эксперимент, со следующими начальными условиями: обучающийся А имеет вектор уровня знаний по 3 дидактическим единицам K=[0.9,0.2,0.1], из дидактических материалов предпочитает видео P=[0.8,0.2], и имеет коэффициент, отражающий индивидуальную скорость обучения λ=1.1. При наличии трех учебных модулей:

- Модуль 1 (Видео по теме 2): D=[0,0.6,0], F=[1,0], R=[0.5,0,0];
- Модуль 2 (Текст по теме 2): D=[0,0.6,0], F=[0,1], R=[0.5,0,0];
- Модуль 3 (Видео по теме 3, сложное): D=[0,0,0.8], F=[1,0], R=[0.8,0.7,0];

И весовых коэффициентах: w_1=0.6,w_2=0.3,w_3=0.1, имеем следующие результаты, рассчитанные системой значения функции полезности U для каждого модуля, представленные в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Результаты расчета функции полезности для доступных модулей

Модуль	G	E	M	U
Модуль 1 (Видео по теме 2)	0.4800	0.0000	0.8000	0.3680
Модуль 2 (Текст по теме 2)	0.4800	0.0000	0.2000	0.3080
Модуль 3 (Видео по теме 3)	0.7200	0.5000	0.8000	0.3620

Как видно из таблицы, максимальной полезностью (U=0.3680) обладает Модуль 1. Таким образом, система рекомендует его для изучения.

Для получения обновления профиля обучающегося было смоделировано успешное прохождение Модуля 1 со значениями O=0.9. Обновление вектора знаний K при η=0.5 привело к следующему результату:

- $K_{исходный}$=[0.9, 0.2, 0.1]
- $K_{обновленный}$=[0.9, 0.3188, 0.1]

Изменение вектора знаний наглядно представлено на рисунке 1.

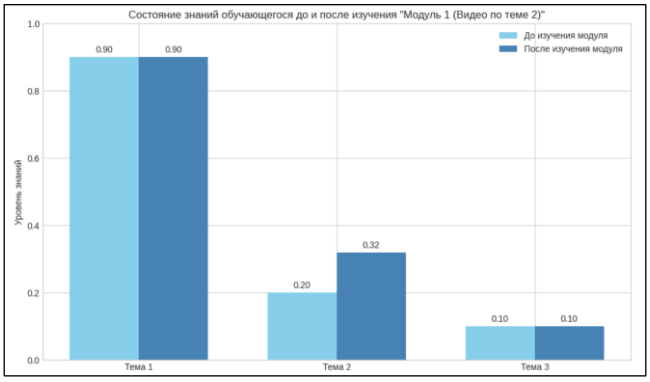


Рисунок 1 – Сравнение вектора знаний обучающегося до и после изучения рекомендованного модуля

Результаты численного эксперимента подтверждают корректность работы модели. Система выбрала Модуль 1, а не Модуль 2, так как при идентичных показателях прироста знаний и усилий, он лучше соответствовал формату, предпочитаемому обучающимся (M=0.8 против 0.2). Модуль 3, несмотря на самый высокий потенциальный прирост знаний (G=0.72), не был выбран из-за высокого штрафа за требуемые усилия (E=0.5), так как уровень предварительной подготовки обучающегося был недостаточен. Это демонстрирует способность модели находить баланс между различными факторами, реализуя принцип «зоны ближайшего развития».

Обсуждение результатов

Ключевым аспектом, который превращает данную модель из простого калькулятора рекомендаций в адаптивную систему, является механизм машинного обучения, реализованный через динамическое обновление вектора знаний. Именно здесь заложен процесс обучения системы. Этот механизм представляет собой реализацию парадигмы онлайн-обучения (online learning), где модель итеративно корректируется на основе непрерывного потока данных. В данном контексте каждое взаимодействие пользователя с контентом (и полученный результат O) служит сигналом обратной связи. Система использует этот сигнал для обновления своего внутреннего представления о студенте (вектора K), фактически обучаясь на его уникальном опыте. Таким образом, без этого шага рекомендации для студента с заданным начальным профилем всегда были бы одинаковыми. С его помощью же рекомендации эволюционируют, поскольку сама модель постоянно адаптируется к растущим знаниям и изменяющимся потребностям пользователя.

Важно отметить ограничения данной модели. Во-первых, существует проблема «холодного старта» – определение начальных векторов для нового пользователя. Во-вторых, эффективность модели зависит от корректного подбора весовых коэффициентов w_i, что само по себе является оптимизационной задачей. В-третьих, модель предполагает наличие полностью размеченной базы контента, что требует значительных трудозатрат или разработки отдельных инструментов для автоматизации этого процесса.

Заключение

В работе предложена и валидирована формализованная модель адаптивной образовательной системы. Ключевыми особенностями модели являются использование векторного представления для комплексного описания обучающихся и контента, применение интерпретируемой функции полезности для принятия решений и наличие механизма динамического обновления состояния обучающегося.

Данная модель может служить основой для разработки нового поколения интеллектуальных платформ для онлайн-обучения.

В качестве направлений для дальнейших исследований можно выделить:

1. Интеграцию модели с методами обучения с подкреплением для оптимизации долгосрочных образовательных траекторий.
2. Разработку методов автоматического извлечения векторов контента (V_C) из необработанных данных (текстов, видео) с помощью нейросетевых моделей.
3. Проведение масштабного экспериментального исследования с участием реальных обучающихся для валидации и тонкой настройки параметров модели.

Список литературы

1. Müller W. Understanding intention and use of digital elements in higher education teaching / W. Müller, M. Leyer // Education and Information Technologies. – 2023. – Vol. 28. – P. 15571-15597. https://doi.org/10.1007/s10639-023-11798-2.
2. Comparative analysis of frequently used e-learning platforms / S. Jain et al // Frontiers in Education. – 2024. – № 9. – P. 1431531. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1431531.
3. The Book Theme Based Personalized Recommendation using Reinforcement Learning / T. Mandel et al // Proceedings of the 23rd International Conference on Intelligent User Interfaces. – 2018. – P. 545-550.
4. Serdyukov P. Formalism in online education / P. Serdyukov // Journal of Research in Innovative Teaching & Learning. – 2021. – № 14(2). – P. 118-132. https://doi.org/10.1108/JRIT-02-2021-0010.
5. Serdyukov P. Challenging Formalization in Education and Beyond: Problems and Solutions for Traditional and Online Learning (1st ed.) / P. Serdyukov // Routledge. – 2022. https://doi.org/10.4324/9781003290094.

6. Alenezi M. Digital Learning and Digital Institution in Higher Education / M. Alenezi // Education Sciences. – 2023. – № 13(1). – P. 88. https://doi.org/10.3390/educsci13010088.
7. Review of Group Formalism for Automated Formalization in Mechanical Engineering / K.B. Moulya и др. // Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV). – 2025. – P. 1744-1753. https://doi.org/10.1109/ICICV64824.2025.11086060.
8. Hypothesis Formalization: Empirical Findings, Software Limitations, and Design Implications / E. Jun et al // ACM Transactions on Computer-Human Interaction. – 2022. – № 29(1), Article 6, 28 pages. https://doi.org/10.1145/3476980.
9. Boufim M. Digital Marketing: Five Stages Maturity Model for Digital Marketing Strategy Implementation / M. Boufim, H. Barka // International Journal of Business and Technology Studies and Research. – 2021. – № 3(3). – P. 15. https://doi.org/10.5281/zenodo.5578706.
10. Kabulov A. Mathematical model of Information Processing in the Ecological Monitoring Information System / A. Kabulov, I. Yarashov // 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – 2021. – P. 1-4. https://doi.org/10.1109/ICISCT52966.2021.9670192.
11. Formalizing Trust in Artificial Intelligence / A. Jacovi et al // Prerequisites, Causes and Goals of Human Trust in AI. Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT '21). – 2021. – P. 624-635. https://doi.org/10.1145/3442188.3445923.
12. Digital Twins: A Maturity Model for Their Classification and Evaluation / J.-F. Uhlenkamp et al // IEEE Access. – 2022. – № 10. – P. 69605-69635. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3186353.

Финансирование

Данное исследование финансировалось/финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23488869).

К.Е. Икласова[1*], А.К. Шайханова[2], М.Ж. Базарова[3], Р.М. Ташибаев[1], А.М. Айтымова[1]
[1]М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,
150000, Қазақстан Республикасы, Петропав қаласы, Пушкин көшесі, 86
[2]Л.Н. Гумилёв атындағы Еуразия ұлттық университеті,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Сәтпаев көшесі, 2
[3]С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,
070002, Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы, 30-шы Гвардиялық дивизия, 34 к.
*e-mail: keiklasova@ku.edu.kz

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН АДАПТИВТІ БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ

Цифрлық білімге жылдам көшу барлық студенттерге бірдей мазмұнды ұсынатын сызықтық, «конвейерлік» платформалардың негізгі шектеулерін анықтады. Мұндай жүйелер бастапқы дайындық деңгейіндегі, когнитивтік стильдердегі, материалды игеру жылдамдығындағы және мазмұн форматтарындағы қалаулардағы жеке айырмашылықтарды есепке ала алмайды, бұл оқытудың жалпы тиімділігін төмендетеді. Бұл мақала адаптивті білім беру жүйесінің формальды математикалық моделін әзірлеу және сипаттау арқылы осы мәселені шешуге арналған. Ұсынылған тәсіл білім алушының да, оқу материалдарының да векторлық көрінісіне негізделген. Модельдің орталық бөлігі-нақты уақыт режимінде белгілі бір студент үшін оңтайлы келесі оқу модулін бағалайтын және таңдайтын интерпретацияланған утилита (U) функциясы. Функция бірнеше педагогикалық маңызды критерийлер арасындағы тепе-теңдікті табады: білімнің әлеуетті өсуі (G), когнитивті жүктеме (E) және форматқа сәйкестік (M). Негізгі ерекшелігі-жүйеге үздіксіз бейімделуге мүмкіндік беретін, оның нәтижелері бойынша білім алушының білім векторын итеративті түрде жаңартатын кіріктірілген Машиналық оқыту механизмі (онлайн оқыту). Модельді тексеру үшін сандық эксперимент жүргізілді, ол жүйенің барлық факторлар арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті тауып, оқушының үлгерімін дұрыс қадағалай отырып, тривиальды емес таңдау жасай алатындығын растады. Ұсынылған модель жекелендірілген және тиімді білім беру траекторияларын құруға қабілетті интеллектуалды оқыту жүйелерінің жаңа буынын құруға арналған икемді құрылым болып табылады.

Түйін сөздер: *жасанды интеллект, математикалық модель, білім беру траекториясы, Машиналық оқыту, даралау, векторлық бейнелеу, утилита функциясы, интеллектуалды оқыту жүйесі.*

К.Е. Iklassova[1*], A.K. Shaikhanova[2], M.Zh. Bazarova[3], R.M. Tashibayev, A.M. Aitymova[1]
[1]M. Kozybayev North Kazakhstan University,
150000, Republic of Kazakhstan, Petropavllovsk, Pushkina Str, 86
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University,
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Satpayev Str., 2
[3]Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University,
070002, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, 30th Gvardeiskoy Divisii Str, 34
*e-mail: keiklasova@ku.edu.kz

MODELING OF AN ADAPTIVE EDUCATIONAL SYSTEM BASED ON MACHINE LEARNING ALGORITHMS

The rapid transition to digital education has revealed the fundamental limitations of linear, «conveyor belt» platforms that offer identical content to all learners. Such systems are unable to take into account individual differences in initial training levels, cognitive styles, learning speeds, and content format preferences, which reduces the overall effectiveness of learning. This article addresses this problem by developing and describing a formalized mathematical model of an adaptive educational system. The proposed approach is based on a vector representation of both the learner and the learning materials in a single multidimensional feature space. The central element of the model is an interpretable utility function (U), which evaluates and selects the optimal next learning module for a specific student in real time. The function finds a balance between several pedagogically significant criteria: potential knowledge gain (G), cognitive load (E), and format compliance (M). A key feature is the built-in machine learning mechanism (online learning), which iteratively updates the learner's knowledge vector based on their results, allowing the system to continuously adapt. To validate the model, a numerical experiment was conducted, which confirmed that the system is capable of making non-trivial choices, finding the optimal balance between all factors, and correctly tracking the learner's progress. Thus, the proposed model represents a transparent and flexible framework for creating a new generation of intelligent learning systems capable of building truly personalized and effective educational trajectories.

Key words: *artificial intelligence, mathematical model, educational trajectory, machine learning, personalization, vector representation, utility function, intelligent learning system.*

Сведения об авторах

Кайнижамал Есимсеитовна Икласова* – PhD, доцент кафедры «Информационно-коммуникационные технологии», Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева; e-mail: keiklasova@ku.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8330-4282.

Айгуль Кайрулаевна Шайханова – PhD, и.о. профессора кафедры информационной безопасности, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org /0000-0001-6006-4813.

Мадина Жомартовна Базарова – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Компьютерное моделирование и информационные технологии», Восточно-Казахстанский университет имени С. Аманжолова; e-mail: madina_vkgtu@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2580-6580.

Рустем Маратович Ташибаев – докорант, Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева; e-mail: rasll17@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-2436-9584.

Алия Муратовна Айтымова – PhD, старший преподаватель кафедры «Начальное, дошкольное и специальное образование», Северо-Казахстанский университет имени М. Козыбаева; e-mail: aitimova_a_1985@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1128-6924.

Авторлар туралы мәліметтер

Кайнижамал Есимсеитовна Икласова* – PhD, «Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар» кафедраның доценті, М.Козыбаев атындағы Солтүстік-Қазақстан университеті; e-mail: keiklasova@ku.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8330-4282.

Айгуль Кайрулаевна Шайханова – PhD, ақпараттық қауіпсіздік кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Мадина Жомартовна Базарова – PhD, «Компьютерлік үлгілеу және ақпараттық технологиялар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті; e-mail: madina_vkgtu@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2580-6580.

Рустем Маратович Ташибаев – докторант, М. Козыбаев атындағы Солтүстік-Қазақстан университеті; e-mail: rasll17@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-2436-9584.

Алия Муратовна Айтымова – PhD, «Бастауыш, мектепке дейінгі және арнайы білім беру» кафедраның аға оқытушысы, М. Козыбаев атындағы Солтүстік-Қазақстан университеті; e-mail: aitimova_a_1985@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1128-6924.

Information about the authors

Kainizhamal Iklassova* – PhD, associate professor, Department of Information and Communication Technologies, Manash Kozybayev North Kazakhstan University; e-mail: keiklasova@ku.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8330-4282.

Aigul Kairulaevna Shaikhanova – PhD, Acting Professor, Department of Information Security, L.N. Gumilyov Eurasian National University; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6006-4813.

Madina Zhomartovna Bazarova – PhD, associate professor of the Department of Computer Modeling and Information Technology, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University; e-mail: madina_vkgtu@mail.ru. https://orcid.org/0000-0003-2580-6580.

Rustem Maratovich Tashibayev – PhD student, Manash Kozybayev North Kazakhstan University; e-mail: rasll17@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-2436-9584.

Aliya Muratovna Aytymova – PhD, Senior lecturer, Department of Primary, Preschool and Special Education, Manash Kozybayev North Kazakhstan University; e-mail: aitimova_a_1985@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1128-6924.

Поступила в редакцию 07.08.2025
Поступила после доработки 27.08.2025
Принята к публикации 28.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-16

CC BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 50.53.19

Е.С. Талмурзин[1], Г.Д. Бәзіл[1], А.А. Абсатарова[1], Е.Ж. Оракбаев[1] , Е.А. Оспанов[2*]
[1]Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті,
050013, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Байтурсынов к-сі, 126/1
[2]Шәкәрім университеті,
071404, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20а
*e-mail: y.ospanov@shakarim.kz

БИОЛОГИЯЛЫҚ СУДЫ ТАЗАРТУДЫ АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа: *Бұл мақалада бұлыңғыр логиканы қолдана отырып, суды биологиялық тазарту жүйесін автоматтандыру қарастырылады. Жұмыстың негізгі мақсаты – тазалау процесінің өзгеретін жағдайларына бейімделе алатын анық емес контроллерді әзірлеу. Бұлыңғыр логиканы енгізу тазалау процесіне әсер ететін көптеген факторларды ескере отырып, басқару тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Жұмыста сорғылардың, аэрациялық жүйелердің жұмысын оңтайландыру және реагенттерді беру үшін басқарудың анық емес ережелері мен оларды жүзеге асыру тәсілдері ұсынылған.*

Методология: Әдістеме қолданыстағы тазалау әдістерін талдауды, анық емес басқару жүйесін әзірлеуді, оны модельдеуді және эксперименттік тексеруді қамтиды. Алдымен заманауи технологиялар және олардың автоматтандыру әлеуеті зерттеледі. Содан кейін сараптамалық мәліметтер мен математикалық модельдерге негізделген анық емес басқару ережелері қалыптасады. Әрі қарай, жүйе өнімділікті тексеру үшін модельденеді, соңында зертханалық немесе өндірістік қондырғыларда эксперименттік тестілеуден өтеді.

Негізгі нәтижелер: Қоршаған орта параметрлерінің өзгеруіне бейімделуге мүмкіндік беретін бұлыңғыр логика негізінде суды биологиялық тазартуды басқарудың автоматтандырылған жүйесі жасалды. Жүйенің жұмысын модельдеу жүргізілді, бұл оның сорғылардың, аэрациялық жүйелердің жұмысын және реагенттердің берілуін дұрыс реттеу қабілетін растады. Эксперименттік зерттеулер бұлыңғыр логиканы қолдану тазалау процесінің тұрақтылығын арттыруға, электр энергиясын тұтынуды азайтуға және оператордың араласуын азайтуға мүмкіндік беретінін көрсетті.

Негізгі тұжырымдар: Суды биологиялық тазартуды автоматтандыруда бұлыңғыр логиканы қолдану процестерді икемді және тиімді басқаруға мүмкіндік береді. Әзірленген бұлыңғыр контроллер өзгеретін жағдайларға жоғары бейімделуді көрсетті және тазарту қондырғыларының жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік берді. Әрі қарайғы зерттеулер анық емес ережелер базасын

кеңейтуге, жүйені басқарудың басқа технологияларымен интеграциялауға және оның өнеркәсіптік жағдайларда экономикалық орындылығын бағалауға бағытталатын болады.

Түйін сөздер: *автоматты басқару, биологиялық суды тазарту, бұлыңғыр логика, бейімделу жүйелері, тазарту қондырғылары, модельдеу, экологиялық қауіпсіздік.*

Кіріспе

Суды биологиялық тазарту су ресурстарының экологиялық қауіпсіздігі мен сапасын қамтамасыз етудегі маңызды кезең болып табылады. Бұл процестерді басқарудың дәстүрлі әдістері айтарлықтай шығындар мен тұрақты бақылауды қажет етеді, бұл олардың тиімділігін төмендетеді. Адаптивті әдістер мен анық емес логикаға негізделген автоматтандырылған басқару жүйелерін енгізу тазалаудың сапасы мен тұрақтылығын айтарлықтай жақсартуға қабілетті.

Ағынды суларды биологиялық тазартуды басқарудың автоматтандырылған жүйелері тазарту процестерінің тиімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді. [1] жұмыста аэротенктегі өндірістік ағынды суларды биологиялық тазарту процесін басқару жүйесі ұсынылған. Ұсынылған жүйені енгізу тазалау сапасының көрсеткіштерін тұрақтандыруды, динамикалық тербелістерді азайтуды және ластаушы заттардың концентрациясын басқарудағы статикалық қатені болдырмауды қамтамасыз етті.

Денитрификация процестері ағынды сулардағы биогендік элементтердің мөлшерін азайтуда маңызды рөл атқарады. [2] зерттеу бұл процесті автоматтандыру нитрат концентрациясын азайтуға мүмкіндік беретінін көрсетті, бұл су объектілерінің "гүлденуіне" жол бермеу үшін өте маңызды. Математикалық модельдерді әзірлеу және өтпелі процестерді жуықтау өзгермелі тазалау жағдайларына бейімделетін алгоритмдер жасауға мүмкіндік берді.

Биологиялық тазалаудың тиімділігін арттыру үшін айналмалы аппараттарды қолдану мүмкіндігі [3] жұмыста қарастырылған. Әзірленген функционалды автоматты басқару схемасы оттегімен қанықтыруды және микроорганизмдердің белсенділігін жақсартады, бұл энергия шығындарын төмендету кезінде жоғары тазарту стандарттарына қол жеткізуге ықпал етеді.

Ағынды сулардағы pH-ны реттеу оларды тазартудың маңызды аспектісі болып табылады. [4] жұмыста бұлыңғыр логикаға негізделген тәсіл ұсынылған, бұл процестің сызықтық емес және күрделі динамикалық сипаттамаларын ескеруге мүмкіндік береді. Бұл әдіс әсіресе ағынды сулардың өзгеруіне және құрамына пайдалы.

Адаптивті басқару әдістері нейрондық желілерді қолдану арқылы тазарту процестерін басқаруда қолданылады. [5] зерттеу тазарту жүйелерінің бейімделуі мен тұрақтылығын арттыратын толық емес ақпарат жағдайында процестерді модельдеу және оңтайландыру әдістемесін ұсынады.

Гибридті нейрондық желілерді пайдалану ағынды суларды биологиялық тазартуды басқаруда тиімді екендігі дәлелденді. [6] жұмыс мұндай модельдер есептеу көлемін азайтуға және күрделі басқару алгоритмдерін жүзеге асыруды жеңілдетуге мүмкіндік беретіндігін көрсетеді.

Инновациялық автоматты тазалау жүйелерін жобалау [7] зерттеуде қарастырылады. Заманауи аэрация технологиялары және тазарту процестерін көп деңгейлі басқару пайдалану шығындарын азайтуға және тазарту қондырғыларының тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Жаңа [8] жұмысты талдау автоматтандырылған ағынды суларды тазарту жүйелеріне бұлыңғыр логиканы енгізу энергия шығынын азайту кезінде шығыс ағынының сапасын жақсартуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Зерттеу ағынды сулардағы аммоний мен жалпы азот деңгейін бақылауға негізделген басқару жүйесін ұсынады, бұл энергияны тұтынуды азайтады және биологиялық тазарту тиімділігін арттырады.

[9] зерттеу өнеркәсіптік ағынды суларды тазарту процестерінде ион алмасу шайырларын қолдануды қарастырады. Бұлыңғыр логика әдістеріне негізделген әзірленген басқару жүйесі шайырларды қалпына келтіру процестерін автоматтандыруға, қуат тұтынуды азайтуға және ағынды суларды тазарту қондырғыларының тұрақтылығын жақсартуға мүмкіндік береді.

Ағынды суларды аэробты тазарту процесін бақылау үшін түсініксіз логикаға негізделген басқару жүйелерін сәтті қолдануды [10] жұмыс көрсетеді. Зерттеу көрсеткендей, интеллектуалды жүйелер өзгеретін жағдайларға бейімделуге және ластаушы заттарды кетіру тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Әдістеме

Ағынды суларды биологиялық тазарту процестері органикалық қосылыстарды ыдырататын және құрамында азот бар ластаушы заттарды кетіретін микроорганизмдердің белсенділігіне негізделген. Мұндай жүйелердің тиімді жұмыс істеуінің негізгі аспектілерінің бірі аэрацияны басқару болып табылады, өйткені оттегімен қамтамасыз ету бактериялардың тіршілік әрекетіне және тазарту сапасына әсер етеді. Алайда, биологиялық жүйелердегі процестердің динамикасы күрделі, сызықты емес және сыртқы бұзылуларға бейім. Осыған байланысты дәстүрлі басқару әдістерін қолдану әрдайым оңтайлы нәтиже бермейді.

Суды биологиялық тазарту процесін басқаруды зерттеу үшін бұлыңғыр логика таңдалды, өйткені ол жүйенің икемділігі мен бейімделуін қамтамасыз ете алады, көптеген факторлар мен олардың өзара әсерін ескеруге мүмкіндік береді. Белгісіздікпен жұмыс лингвистикалық айнымалылар мен анық емес ережелерді қолдану арқылы мүмкін болады, бұл басқару алгоритмдерін тазарту қондырғылары операторларының сараптамалық тәжірибесіне жақындатады. Дәстүрлі аналитикалық басқару модельдерін сызықтық емес және динамикалық параметрлердің өзгеруіне байланысты жүзеге асыру қиын, ал бұлыңғыр логика егжей-тегжейлі математикалық модельдеуді қажет етпестен жүйенің күйлерінің кең ауқымын ескеруге мүмкіндік береді.

Басқару жүйесін дамыту үшін үш кіріс параметрі таңдалды: еріген оттегі деңгейі, аммоний концентрациясы және тотығу-тотықсыздану потенциалы. Бұл параметрлер биологиялық тазартудың тиімділігін бағалау үшін өте маңызды және нақты уақыт режимінде аэрация процесін реттеуге мүмкіндік береді (1 сурет).

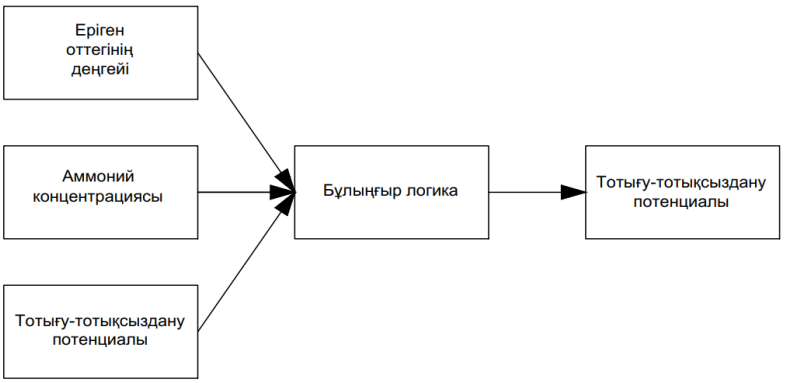
1. *Еріген оттегі деңгейі:* бұл параметр биологиялық тазарту күйінің негізгі көрсеткіші болып табылады. Оттегінің төмен деңгейі органикалық заттар мен аммонийдің тотығу процесінің баяулауына немесе толық тоқтауына әкелуі мүмкін, бұл тазарту тиімділігін төмендетеді. Оттегінің тым жоғары деңгейі энергияны шамадан тыс тұтынуға әкелуі мүмкін, бұл аэрацияны реттеуді өте маңызды етеді. Оттегінің оңтайлы деңгейі Ағынды суларды тазартудың жоғары сапасын қамтамасыз ете отырып, аэробты бактериялардың белсенділігін сақтайды.

2. *Аммоний концентрациясы:* аммоний (NH4+) – органикалық қосылыстардың ыдырау өнімі және ағынды сулардың ластануының көрсеткіші. Жоғары концентрация аммонийдің нитриттерге және одан әрі нитраттарға айналу процесіне жауап беретін нитрификатор бактерияларының жеткіліксіз белсенділігін көрсетеді. Аммоний концентрациясын бақылау биологиялық тазартудың тұрақты процесін қамтамасыз ету және ластаушы заттардың қоршаған ортаға шығарылуын болдырмау үшін қажет.

3. *Тотығу-тотықсыздану потенциалы (ТТП):* бұл параметр тотығу процестерінің қарқындылығын және қоршаған ортаның аэробтылық деңгейін сипаттайды. Тотығу-тотықсыздану потенциалы төмен мәндері оттегінің жетіспеушілігін және анаэробты процестердің басым болуын көрсетеді, бұл күкіртсутек сияқты қажетсіз қосылыстардың пайда болуына әкелуі мүмкін. Жоғары мәндер тиімді тазартуға ықпал ететін ортаның жеткілікті оттегімен қанықтылығын көрсетеді. OVP оңтайлы диапазоны аэрацияны реттеуге және аэробты және анаэробты процестер арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Басқару жүйесінің шығысы – *аэрация жүйесіне оттегінің берілу қарқындылығы*. Ол кіріс параметрлеріне байланысты реттеледі және бұлыңғыр ережелерді ескере отырып есептеледі. Нәтижесінде жүйе тиімді биологиялық процестерді қолдау үшін оттегінің оңтайлы мөлшерін қамтамасыз ете отырып, өзгеретін жағдайларға бейімделеді. Осылайша, Шығыс әр уақытта аэрация деңгейін анықтайтын динамикалық өзгеретін мән болып табылады.

Лингвистикалық айнымалыларды қолдану бас инженер, технолог, тазарту қондырғысының операторы және су сапасын бақылау жөніндегі маман сияқты тазарту қондырғысы мамандарының сараптамалық пікірін ескеруге мүмкіндік береді. Бұлыңғыр мәндерді қолдану биологиялық тазартудың динамикалық процестерін дәл сипаттаудың күрделілігіне, сондай-ақ сыртқы факторлардың әсерінен параметрлердің жоғары өзгергіштігіне байланысты.



Сурет 1 – Параметрлердің өзара әсері

Әрбір кіріс параметрі үшін тиістілік функциялары анықталды (1 кесте):

1. *Еріген оттегінің деңгейі (DO, мг/л)* – аэробты микроорганизмдердің белсенділігіне әсер ететін негізгі фактор. Оның концентрациясына байланысты келесі жағдайлар бөлінеді:

– Төмен (0-3 мг/л) – оттегінің жеткіліксіз қанығуы, нитрификация процестерінің баяулауы.

$$\mu_{\text{төмен}}(DO) = \begin{cases} 1, & DO \le 1 \\ \dfrac{3 - DO}{2}, & 1 < DO < 3 \\ 0, & DO \ge 3 \end{cases};$$

– Орташа (2-6 мг/л) – тиімді биологиялық тазартуды қолдайтын оңтайлы диапазон.

$$\mu_{\text{орта}}(DO) = \begin{cases} 0, & DO \le 2 \text{ немесе } DO \ge 6 \\ \dfrac{DO - 2}{2}, & 2 < DO \le 4 \\ \dfrac{6 - DO}{2}, & 4 < DO \le 6 \end{cases};$$

– Жоғары (5-10 мг/л) – артық оттегі, бұл артық қуат тұтынуға әкелуі мүмкін.

$$\mu_{\text{жоғары}}(DO) = \begin{cases} 0, & DO \le 5 \\ \dfrac{3 - DO}{2}, & 5 < DO < 7 \\ 1, & DO \ge 7 \end{cases}.$$

2. *Аммоний концентрациясы (NH_4^+, мг/л)* – судың азот қосылыстарымен ластану дәрежесінің және нитрификация процесінің тиімділігінің көрсеткіші:

– Төмен (0-2 мг/л) – Ағынды суларды сапалы тазартуды көрсетеді.

$$\mu_{\text{төмен}}(\mathrm{NH_4}^+) = \begin{cases} 1, & \mathrm{NH_4}^+ \le 1 \\ \dfrac{2 - \mathrm{NH_4}^+}{2}, & 1 < \mathrm{NH_4}^+ < 2 \\ 0, & \mathrm{NH_4}^+ \ge 2 \end{cases};$$

– Орташа (1-5 мг/л) - жүйенің қалыпты жұмысын көрсететін рұқсат етілген деңгей.

$$\mu_{\text{орта}}(\mathrm{NH_4}^+) = \begin{cases} 0, & \mathrm{NH_4}^+ \le 1 \text{ немесе } \mathrm{NH_4}^+ \ge 5 \\ \dfrac{\mathrm{NH_4}^+ - 1}{2}, & 1 < \mathrm{NH_4}^+ \le 3 \\ \dfrac{5 - \mathrm{NH_4}^+}{2}, & 3 < \mathrm{NH_4}^+ \le 5 \end{cases};$$

– Жоғары (4-10 мг/л) – нитрификация тиімділігі жеткіліксіз, аэрацияны түзету қажет.

$$\mu_{\text{жоғары}}(\mathrm{NH_4}^+) = \begin{cases} 0, & \mathrm{NH_4}^+ \le 4 \\ \dfrac{\mathrm{NH_4}^+ - 4}{2}, & 4 < \mathrm{NH_4}^+ < 6 \\ 1, & \mathrm{NH_4}^+ \ge 6 \end{cases}.$$

3. *Тотығу-тотықсыздану потенциалы (ORP, мВ)* – тотығу процестерінің дәрежесін және қоршаған ортаның аэробтық деңгейін көрсетеді:

– Төмен (<100 мВ) – анаэробты жағдайлардың басым болуы, қажетсіз қосылыстардың пайда болуы.

$$\mu_{\text{төмен}}(\text{ORP}) = \begin{cases} 1, & \text{ORP} \leq 80 \\ \dfrac{120 - \text{ORP}}{40}, & 80 < \text{ORP} < 120 \\ 0, & \text{ORP} \geq 120 \end{cases};$$

– Орташа (100-200 мВ) – биохимиялық процестердің қалыпты ағымына сәйкес келетін теңдестірілген күй.

$$\mu_{\text{орта}}(\text{ORP}) = \begin{cases} 0, & \text{ORP} \leq 100 \text{ немесе ORP} \geq 200 \\ \dfrac{\text{ORP} - 100}{50}, & 100 < \text{ORP} \leq 150 \\ \dfrac{200 - \text{ORP}}{50}, & 150 < \text{ORP} \leq 200 \end{cases};$$

– Жоғары (200-300 мВ) – биологиялық тазарту үшін қолайлы аэробты жағдайлар.

$$\mu_{\text{жоғары}}(\text{ORP}) = \begin{cases} 0, & \text{ORP} \leq 180 \\ \dfrac{\text{ORP} - 180}{50}, & 180 < \text{ORP} < 230 \\ 1, & \text{ORP} \geq 230 \end{cases};$$

– Өте жоғары (>300 мВ) – артық аэрация, бұл негізсіз энергия шығындарына әкелуі мүмкін.

$$\mu_{\text{өте жоғары}}(\text{ORP}) = \begin{cases} 0, & \text{ORP} \leq 250 \\ \dfrac{\text{ORP} - 250}{50}, & 250 < \text{ORP} < 300 \\ 1, & \text{ORP} \geq 300 \end{cases}.$$

Шығу параметрі – *аэрация қарқындылығы (%),* жүйеге оттегінің берілуін анықтайды және кіріс негізінде реттеледі:

– Төмен (0-25%) – жақсы тазалау сапасымен оттегінің минималды жеткізілуі.
– Орташа (20-50%) – теңдестірілген аэрациялық әсер.
– Жоғары (40-70%) – тазарту процестерін қолдау үшін қарқындылықты арттыру.
– Өте жоғары (60-90%) – жоғары ластану деңгейінде оттегімен қарқынды қанықтыру.
– Максималды (80-100%) – ластаушы заттардың өте жоғары концентрациясында шұғыл аэрация режимі.

Кесте 1 – Айнымалылардың тиістілік функциясы

Лингвистикалық айнымалы	Тиістілік функциясы
Төмен	$\mu_{\text{төмен}}(A) = \begin{cases} 1, & A \leq 10 \\ \dfrac{25 - A}{15}, & 10 < A < 25 \\ 0, & A \geq 25 \end{cases}$
Орташа	$\mu_{\text{орта}}(A) = \begin{cases} 0, & A \leq 20 \text{ немесе } A \geq 50 \\ \dfrac{A - 20}{15}, & 20 < A \leq 35 \\ \dfrac{50 - A}{15}, & 35 < A \leq 50 \end{cases}$
Жоғары	$\mu_{\text{жоғары}}(A) = \begin{cases} 0, & A \leq 40 \\ \dfrac{A - 40}{15}, & 40 < A < 55 \\ 1, & A \geq 55 \end{cases}$
Өте жоғары	$\mu_{\text{өте жоғары}}(A) = \begin{cases} 0, & A \leq 60 \\ \dfrac{A - 60}{15}, & 60 < A < 75 \\ 1, & A \geq 75 \end{cases}.$
Максималды	$\mu_{\text{өте жоғары}}(A) = \begin{cases} 0, & A \leq 80 \\ \dfrac{A - 80}{10}, & 80 < A < 90 \\ 1, & A \geq 90 \end{cases}.$

Лингвистикалық айнымалылар мен анық емес мүшелік функцияларын пайдалану тазарту жүйесіндегі белгісіздіктер мен динамикалық өзгерістерді ескеруге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл басқару алгоритмдерін сараптамалық шешім қабылдау әдістеріне жақындатады және жүйенің бейімделуін қамтамасыз етеді, минималды энергия шығындарымен тазарту процестерінің тиімділігін арттырады (2 кесте).

Одан кейін аэрация процесін басқарудың бұлыңғыр ережелерінің негізі қалыптасады. Әрбір ереже кіріс параметрлерін шығыс параметрімен байланыстырады, бұл жүйеге нақты уақыт режимінде өзгеретін жағдайларға бейімделуге мүмкіндік береді. Ережелерді қалыптастыру сараптамалық мәліметтер мен технологиялық процесті талдауға негізделген.

Мысалы, егер еріген оттегінің (DO) деңгейі төмен болса, аммоний концентрациясы (NH_4^+) жоғары болса және тотығу-тотықсыздану потенциалы (ORP) төмен болса, онда аэрация қарқындылығы максималды болуы керек.

Кесте 2 – Айнымалылардың тиістілік функциясы

Ереже № № правил	Кіріс шамалар			Шығыс шамалар	Ереже № № правил	Кіріс шамалар			Шығыс шамалар
	Еріген оттегінің деңгейі	Аммоний концент-рациясы	Тотығу-тотықсызданы потен-циалы	Еріген оттегінің деңгейі		Еріген оттегінің деңгейі	Аммоний концентра-циясы	Тотығу-тотықсыздану потенциалы	Еріген оттегінің деңгейі
1	Төмен	Төмен	Төмен	Жоғары	19	Орта	Орта	Жоғары	Орта
2	Төмен	Төмен	Орта	Жоғары	20	Орта	Орта	Өте жоғ	Орта
3	Төмен	Төмен	Жоғары	Орта	21	Орта	Жоғары	Төмен	Өте жоғ
4	Төмен	Төмен	Өте жоғ	Орта	22	Орта	Жоғары	Орта	Жоғары
5	Төмен	Орта	Төмен	Өте жоғ	23	Орта	Жоғары	Жоғары	Жоғары
6	Төмен	Орта	Орта	Өте жоғ	24	Орта	Жоғары	Өте жоғ	Орта
7	Төмен	Орта	Жоғары	Жоғары	25	Жоғары	Төмен	Төмен	Төмен
8	Төмен	Орта	Өте жоғ	Жоғары	26	Жоғары	Төмен	Орта	Төмен
9	Төмен	Жоғары	Төмен	Максимал	27	Жоғары	Төмен	Жоғары	Төмен
10	Төмен	Жоғары	Орта	Өте жоғ	28	Жоғары	Төмен	Өте жоғ	Төмен
11	Төмен	Жоғары	Жоғары	Жоғары	29	Жоғары	Орта	Төмен	Орта
12	Төмен	Жоғары	Өте жоғ	Жоғары	30	Жоғары	Орта	Орта	Орта
13	Орта	Төмен	Төмен	Орта	31	Жоғары	Орта	Жоғары	Төмен
14	Орта	Төмен	Орта	Орта	32	Жоғары	Орта	Өте жоғ	Төмен
15	Орта	Төмен	Жоғары	Төмен	33	Жоғары	Жоғары	Төмен	Жоғары
16	Орта	Төмен	Өте жоғ	Төмен	34	Жоғары	Жоғары	Орта	Орта
17	Орта	Орта	Төмен	Жоғары	35	Жоғары	Жоғары	Жоғары	Төмен
18	Орта	Орта	Орта	Жоғары	36	Жоғары	Жоғары	Өте жоғ	Төмен

Технологиялық қолдану

Ағынды суларды биологиялық тазартуды басқаруда бұлыңғыр логиканы қолдану Ағынды суларды тазарту қондырғыларында болып жатқан процестердің күрделілігі мен сызықтықленостігіне байланысты. Қатты математикалық модельдерге негізделген дәстүрлі автоматты басқару әдістері әрқашан қоршаған орта параметрлеріндегі барлық мүмкін өзгерістерді есепке ала бермейді. Олардан айырмашылығы, бұлыңғыр логика басқару процесін сараптамалық тәжірибеге жақындата отырып, белгісіздік жағдайында тиімді жұмыс істейді.

Аэрацияны басқаруда бұлыңғыр логиканы қолданудың негізгі артықшылықтары:

– Жүйенің икемділігі: нақты уақыттағы өзгеретін жағдайларға бейімделу мүмкіндігі.

– Модельдеуді жеңілдету: күрделі математикалық есептеулердің қажеті жоқ.

– Ресурстарды үнемдеу: оттегімен қамтамасыз етуді оңтайландыру аэрацияның энергия шығынын азайтады.

– Мазасыздыққа төзімділік: жүйе ағынды сулардың параметрлерінің өзгеруімен тиімді күреседі.

Басқа технологиялармен салыстыру

Дәл баптауды қажет ететін және сызықтық емес процестерге жақсы бейімделмейтін дәстүрлі PID реттегіштерінен айырмашылығы, бұлыңғыр логика икемділікке ие және қатаң

математикалық модельдеуді қажет етпейді. Нейрондық желілермен салыстырғанда, оны жүзеге асыру оңайырақ және күрделі көп параметрлік тәуелділіктерде дәл олардан төмен болса да, оқу деректерінің үлкен көлемін қажет етпейді. Модельдік болжамды басқарумен (MPC) салыстырғанда, бұлыңғыр логика ресурстарды аз қажет етеді және өзгерістерге тезірек жауап береді, бұл оны ағынды суларды биологиялық тазартуды басқарудың тиімді және қол жетімді құралы етеді.

Пайдалану перспективалары

Ағынды суларды биологиялық тазартуды басқару жүйелерінде бұлыңғыр логиканы қолдану белсенді дамуды жалғастыруда. Жетілдірудің мүмкін бағыттары:

– Тарихи деректерге негізделген анық емес ережелерді автоматты түрде оңтайландыру үшін нейрондық желілермен және машиналық оқыту әдістерімен интеграция.

– Бұлыңғыр логика мен болжау әдістерін біріктіретін гибридті жүйелерді әзірлеу, бұл тазалау параметрлерінің өзгеруін дәлірек болжауға мүмкіндік береді.

– Ақылды қалаларда және сумен жабдықтау жүйелерінде қолдануды кеңейту, мұнда жүктемеге байланысты тазарту процестерін динамикалық реттеу маңызды.

Мұндай технологияларды енгізу экологиялық қауіпсіздікті арттыруға, энергия шығынын азайтуға және суды тазарту сапасын жақсартуға мүмкіндік береді, бұл процестерді тиімдірек және тұрақты етеді.

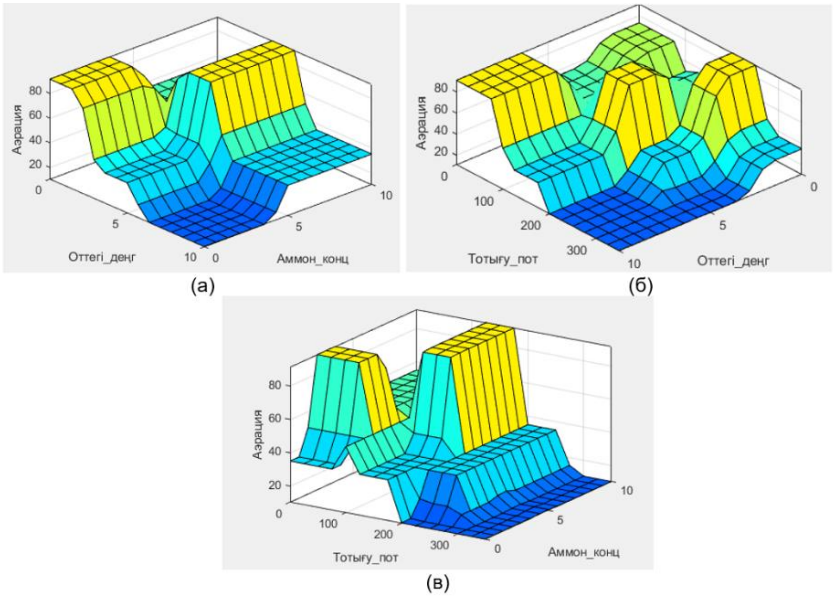
Нәтижелер

Мамдани алгоритмін модельдеудің және қолданудың барлық кезеңдерін орындағаннан кейін ағынды суларды биологиялық тазарту процесінде аэрацияны басқарудың бұлыңғыр жүйесі құрылды. Есептеулер барысында кіріс параметрлерінің тиесілік деңгейлері (еріген оттегі, аммоний концентрациясы, тотығу-тотықсыздану потенциалы) анықталды және оттегінің берілу қарқындылығын динамикалық реттеуге мүмкіндік беретін басқару ережелері әзірленді.

Модель белгілі бір кезеңдегі тазарту қондырғыларының жұмысын сипаттайтын мәліметтерге тексерілді. Нәтижелер жүйенің су параметрлерінің өзгеруіне байланысты аэрацияны дұрыс бейімдейтінін көрсетті, бұл микроорганизмдердің тиімді жұмыс істеуі үшін оттегінің оңтайлы деңгейін қамтамасыз етеді.

Жекелеген жағдайларды талдау кезінде аммонийдің жоғары концентрациясында және еріген оттегінің төмен деңгейінде жүйе нитрификация процестерінің тиімді жүруіне ықпал ете отырып, оттегінің берілуін арттыратыны анықталды. Керісінше, аммоний концентрациясы төмен және тотығу-тотықсыздану потенциалы жоғары болған кезде аэрация қарқындылығы төмендейді, бұл тазарту сапасының нашарлауынсыз энергия шығынын азайтады.

Бұлыңғыр аэрацияны басқару жүйесінің жұмысын көрнекі түрде көрсету үшін кіріс параметрлерінің шығыс сигналымен – оттегінің берілу қарқындылығымен байланысын көрсететін үш өлшемді графиктер салынды (2 сурет).



Сурет 2 – Кіріс параметрлерінің шығыс сигналымен байланысы

Атап айтқанда, аэрация деңгейінің кіріс айнымалыларының әртүрлі комбинацияларына тәуелділігін көрсететін үш график ұсынылған:

– аэрацияның еріген оттегі деңгейіне және аммоний концентрациясына тәуелділігі (2 а – сурет);

– аэрацияның еріген оттегі деңгейіне және тотығу-тотықсыздану потенциалына тәуелділігі (2 б – сурет);

– аэрацияның аммоний концентрациясына және тотығу-тотықсыздану потенциалына тәуелділігі (2 в – сурет).

Бұл визуализациялар негізгі параметрлердің әртүрлі мәндерінде аэрация қарқындылығының қалай өзгеретінін бағалауға және әзірленген анық емес басқару моделінің сәйкестігін растауға мүмкіндік береді.

Талқылау

Бұлыңғыр логикаға негізделген аэрацияны басқарудың дамыған жүйесі Ағынды суларды биологиялық тазартудың өзгеретін жағдайларына бейімделуде өзінің тиімділігін көрсетті. Қатаң математикалық модельдер мен нақты деректерді қажет ететін дәстүрлі реттеу әдістерінен айырмашылығы, бұлыңғыр логика белгісіздіктерді ескеруге және параметрлердің шамамен мәндерімен жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

Нәтижелер ұсынылған тәсіл еріген оттегінің деңгейіне, аммоний концентрациясына және тотығу-тотықсыздану потенциалына байланысты оттегінің берілу қарқындылығын реттеуге қабілетті екенін растайды. Нәтижелердің графикалық көрінісі қабылданған басқарушы шешімдердің қисындылығы мен дұрыстығын көрсетеді.

Дегенмен, әдістің шектеулері де бар. Бұлыңғыр жүйенің дәлдігі көбінесе дұрыс қалыптасқан ережелер базасына және тиістілік функцияларына байланысты. Нақты жағдайда модельде ескерілмеген жағдайлар туындауы мүмкін, бұл жүйені қосымша конфигурациялауды қажет етеді. Жинақталған мәліметтер негізінде ережелер базасын автоматты түрде жаңарту үшін машиналық оқыту әдістерін біріктіру одан әрі дамудың мүмкін бағыты болып табылады.

Қорытынды

Бұл жұмыста ағынды суларды биологиялық тазарту процесінде аэрацияны басқарудың бұлыңғыр жүйесі жасалды. Үш кіріс параметріне негізделген-еріген оттегі деңгейі, аммоний концентрациясы және тотығу-тотықсыздану потенциалы – жүйе минималды энергия шығынымен тиімді тазартуды қамтамасыз ете отырып, оттегінің оңтайлы берілу қарқындылығын анықтайды.

Салынған үш өлшемді графиктер модельдің жұмысының жеткіліктілігін көрсетті, ал алынған деректерді талдау жүйенің өзгеретін жағдайларға бейімделу қабілетін растады. Бұлыңғыр логиканы қолдану тазарту процестерінің күрделі динамикасын ескеруге және күрделі математикалық есептеулердің қажеттілігін болдырмауға мүмкіндік берді.

Әрі қарайғы зерттеулердің перспективалық бағыты адаптивті алгоритмдер мен машиналық оқыту арқылы модельді жетілдіру, сондай-ақ тазарту параметрлерін дәлірек реттеу үшін жүйенің су сапасын бағалаудың болжамды әдістерімен интеграциясы болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Баулин Е.С. Автоматизация процесса биологической очистки промышленных сточных вод в аэротенке-вытеснителе / Е.С. Баулин, М.А. Назаров // Материалы конференции. – Самара, 2023. – С. 388-389.
2. Мухетов Д.В. Автоматизация процесса денитрификации при биологической очистке сточных вод / Д.В. Мухетов, М.А. Назаров // Материалы конференции. – Самара, 2023. – С. 392-393.
3. Денисов С.Е. Автоматизация и управление процессом биологической очистки сточных вод / С.Е. Денисов, С.П. Максимов, Т.А. Микляева // Естественные и математические науки в современном мире: сб. ст. по матер. XXX междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК. – 2015. – № 5(29).
4. Иванов П.П. Автоматизация процесса регулирования pH в схеме очистки карьерных сточных вод угледобывающих предприятий / П.П. Иванов, С.Г. Пачкин, В.П. Иванова // Научно-технический и производственно-экономический журнал «Уголь». – 2024. – № 07-/1182/. – С. 84-90.

5. Воробьева М.Д. Интеллектуальные системы управления очисткой сточных вод с применением нейронных сетей, 2023.
6. Мурачев Е.Г. Методика построения системы управления технологическим процессом биологической очистки сточных вод на основе гибридных нейронных сетей / Е.Г. Мурачев, Г.М. Холодов, О.И. Солопова // Известия МГТУ «МАМИ» – 2009. – № 2(8). – С. 231-234.
7. Проектирование и разработка инновационной автоматической системы биологической очистки сточных вод / Ю.В. Бебихов и др. // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 7. – С. 136-142.
8. Плехов В.Г. Автоматизация процессов биологической очистки сточных вод предприятий нефтяной промышленности / В.Г. Плехов, В.В. Дьяченко, И.Л. Дьяченко // Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2024. – С. 22-33.
9. Kumar S. A supervisory fuzzy logic control scheme to improve effluent quality of a wastewater treatment plant / S. Kumar, K. Latha // Water Science & Technology. – 2021. – Vol. 84, № 10-11. – P. 3415-3420.
10. Control of Wastewater Treatment Processes Using a Fuzzy Logic Approach / J. Eshbobaev et al // Engineering Proceedings. – 2024. – Vol. 69. – P. 39.

References

1. Baulin E.S. Avtomatizatsiya protsessa biologicheskoi ochistki promyshlennykh stochnykh vod v aehrotenke-vytesnitele / E.S. Baulin, M.A. Nazarov // Materialy konferentsii. – Samara, 2023. – S. 388-389. (In Russian).
2. Mukhetov D.V. Avtomatizatsiya protsessa denitrifikatsii pri biologicheskoi ochistke stochnykh vod / D.V. Mukhetov, M.A. Nazarov // Materialy konferentsii. – Samara, 2023. – S. 392-393. (In Russian).
3. Denisov S.E. Avtomatizatsiya i upravlenie protsessom biologicheskoi ochistki stochnykh vod / S.E. Denisov, S.P. Maksimov, T.A. Miklyaeva // Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremennom mire: sb. st. po mater. XXX mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Novosibirsk: SiBAK. – 2015. – № 5(29). (In Russian).
4. Ivanov P.P. Avtomatizatsiya protsessa regulirovaniya RN v skheme ochistki kar'ernykh stochnykh vod ugledobyvayushchikh predpriyatii / P.P. Ivanov, S.G. Pachkin, V.P. Ivanova // Nauchno-tekhnicheskii i proizvodstvenno-ehkonomicheskii zhurnal «Ugol'». – 2024. – № 07- /1182/. – S. 84-90. (In Russian).
5. Vorob'eva M.D. Intellektual'nye sistemy upravleniya ochistkoi stochnykh vod s primeneniem neironnykh setei, 2023. (In Russian).
6. Murachev E.G. Metodika postroeniya sistemy upravleniya tekhnologicheskim protsessom biologicheskoi ochistki stochnykh vod na osnove gibridnykh neironnykh setei / E.G. Murachev, G.M. Kholodov, O.I. Solopova // Izvestiya MGTU «MAMI» – 2009. – № 2(8). – S. 231-234. (In Russian).
7. Proektirovanie i razrabotka innovatsionnoi avtomaticheskoi sistemy biologicheskoi ochistki stochnykh vod / YU.V. Bebikhov i dr. // Innovatsii i investitsii. – 2023. – № 7. – S. 136-142. (In Russian).
8. Plekhov V.G. Avtomatizatsiya protsessov biologicheskoi ochistki stochnykh vod predpriyatii neftyanoi promyshlennosti / V.G. Plekhov, V.V. D'yachenko, I.L. D'yachenko // Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet. – 2024. – S. 22-33. (In Russian).
9. Kumar S. A supervisory fuzzy logic control scheme to improve effluent quality of a wastewater treatment plant / S. Kumar, K. Latha // Water Science & Technology. – 2021. – Vol. 84, № 10-11. – P. 3415-3420. (In English).
10. Control of Wastewater Treatment Processes Using a Fuzzy Logic Approach / J. Eshbobaev et al // Engineering Proceedings. – 2024. – Vol. 69. – P. 39. (In English).

Е.С. Талмурзин[1], Г.Д. Базил[1], А.А. Абсатарова[1], Е.Ж. Оракбаев[1] , Е.А.Оспанов[2*]
[1]Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева,
050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Байтурсынова, 126/1.
[2]Университет Шакарим,
071404, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20а.
*e-mail: y.ospanov@shakarim.kz

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКОЙ ВОДЫ

Аннотация: *В данной статье рассматривается автоматизация системы биологической очистки воды с использованием нечеткой логики. Основной целью работы является разработка нечеткого контроллера, способного адаптироваться к изменяющимся условиям процесса очистки. Внедрение нечеткой логики позволяет улучшить эффективность управления, учитывая множество факторов, влияющих на процесс очистки. В статье предложены нечеткие правила управления для оптимизации работы насосов, аэрационных систем и подачи реагентов, а также методы их реализации.*

Методология: Методология включает в себя анализ существующих методов очистки, разработку нечеткой системы управления, ее моделирование и экспериментальную проверку. Сначала исследуются современные технологии и их потенциал для автоматизации. Затем на основе экспертных данных и математических моделей разрабатываются нечеткие правила управления. Далее система моделируется для проверки производительности, а в конце проходит экспериментальное тестирование на лабораторных или производственных установках.

Основные результаты: Разработана автоматизированная система управления биологической очисткой воды на основе нечеткой логики, которая позволяет адаптироваться к изменениям параметров окружающей среды. Моделирование работы системы подтвердило ее способность правильно регулировать работу насосов, аэрационных систем и подачу реагентов. Экспериментальные исследования показали, что применение нечеткой логики способствует повышению стабильности процесса очистки, снижению потребления электроэнергии и уменьшению вмешательства оператора.

Основные выводы: Использование нечеткой логики в автоматизации биологической очистки воды позволяет гибко и эффективно управлять процессами. Разработанный нечеткий контроллер продемонстрировал высокую адаптивность к изменяющимся условиям и способствовал оптимизации работы очистных сооружений. Будущие исследования будут направлены на расширение базы нечетких правил, интеграцию с другими технологиями управления системой и оценку экономической целесообразности его применения в промышленных условиях.

Ключевые слова: *автоматическое управление, биологическая очистка воды, нечеткая логика, адаптивные системы, очистные сооружения, моделирование, экологическая безопасность.*

E.S. Talmurzin[1], G.D. Bazil[1], A.A. Absatarova[1], E.Zh. Orakbayev[1], Y.A. Ospanov[2*]

[1]Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev,
050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, Baytursynov St., 126/1

[2]Shakarim University,
071404, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinki St., 20a.

[*]e-mail: y.ospanov@shakarim.kz

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR CONTROL OF WATER BIOLOGICAL TREATMENT

Abstract: *This paper deals with the automation of biological water treatment system using fuzzy logic. The main objective of the work is to develop a fuzzy controller capable of adapting to the changing conditions of the purification process. The implementation of fuzzy logic can improve the control efficiency by considering many factors affecting the purification process. The paper proposes fuzzy control rules for optimising the operation of pumps, aeration systems and reagent supply, as well as methods for their implementation.*

Methodology: The methodology includes analysis of existing cleaning methods, development of a fuzzy control system, its modelling and experimental validation. First, current technologies and their potential for automation are investigated. Then fuzzy control rules are developed based on expert data and mathematical models. Next, the system is modelled to verify the performance and at the end it is experimentally tested on laboratory or production units.

Main results: An automated control system for biological water treatment based on fuzzy logic has been developed to adapt to changes in environmental parameters. Modelling of the system operation confirmed its ability to properly regulate the operation of pumps, aeration systems and reagent supply. Experimental studies have shown that the use of fuzzy logic helps to increase the stability of the purification process.

Key words: *automatic control, biological water treatment, fuzzy logic, adaptive systems, treatment facilities, modelling, environmental safety.*

Авторлар туралы мәліметтер

Ерхан Сайранұлы Талмурзин – «Автоматтандыру және басқару» кафедрасының магистранты; Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті, Қазақстан; e-mail: y.talmurzin@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-4917-1345.

Гулмира Дүйсенбекқызы Бәзіл – PhD, «Автоматтандыру және басқару» кафедрасының профессор-оқытушы, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті, Қазақстан; e-mail: g.bazil@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9563-0352.

Ақерке Алтынбекқызы Абсатарова – «Автоматтандыру және басқару» кафедрасының докторанты; Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті, Қазақстан; e-mail: a.absatarova@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-5316-1768.

Ербол Жумагельдиевич Оракбаев – PhD, қауымд. профессор (доцент) «Автоматтандыру және басқару» кафедрасының профессор-оқытушы, Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті, Қазақстан; e-mail: e.orakbaev@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3100-7419.

Ербол Амангазович Оспанов* – PhD, қауымд. профессор (доцент) «IT технологиялар» кафедрасының ауымдастырылған профессоры, Шәкәрім университет, Қазақстан; e-mail: y.ospanov@shakarim.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5342-274X.

Сведения об авторах

Ерхан Сайранулы Талмурзин – магистрант кафедры «Автоматизация и управление», Университет энергетики и связи имени Гумарбек Даукеев, Казахстан; e-mail: y.talmurzin@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-4917-1345.

Гулмира Дуйсенбеккызы Базил – PhD, профессор-преподаватель кафедры «Автоматизации и управления», Университет энергетики и связи имени Гумарбек Даукеев, Казахстан; e-mail: g.bazil@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9563-0352.

Акерке Алтынбеккызы Абсатарова – докторант кафедры «Автоматизация и управление», Университет энергетики и связи имени Гумарбек Даукеев, Казахстан; e-mail: a.absatarova@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-5316-1768.

Ербол Жумагельдиевич Оракбаев – PhD, ассоц. профессор (доцент) кафедры «Автоматизации и управления», Университет энергетики и связи имени Гумарбек Даукеев, Казахстан; e-mail: e.orakbaev@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3100-7419.

Ербол Амангазович Оспанов* – PhD, ассоц. профессор (доцент) кафедры «IT технологии», Университет Шакарима, Казахстан; e-mail: y.ospanov@shakarim.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5342-274X.

Information about the authors

Yerhan Sayranuly Talmurzin – Master's student of the Department of «Automation and Control», Gumarbek Daukeev University of Energy and Telecommunications, Kazakhstan; e-mail: y.talmurzin@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-4917-1345.

Gulmira Duyssenbekkyzy Bazil – PhD, professor-teacher of the Department of «Automation and Control», Gumarbek Daukeev University of Energy and Telecommunications, Kazakhstan; e-mail: g.bazil@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9563-0352.

Akerke Altynbekkizy Absatarova – PhD student of the Department of «Automation and Control», Gumarbek Daukeev University of Energy and Telecommunications, Kazakhstan; e-mail: a.absatarova@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-5316-1768.

Erbol Zhumageldievich Orakbaev – PhD, Associate Professor of the Department of «Automation and Control», Gumarbek Daukeev University of Energy and Telecommunications, Kazakhstan; e-mail: e.orakbaev@aues.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3100-7419.

Yerbol Amangazovich Ospanov* – PhD, Associate Professor, Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: y.ospanov@shakarim.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5342-274X.

Редакцияға енуі 02.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 20.08.2025
Жариялауға қабылданды 21.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-17

ҒТАХР: 28.15.19

BY 4.0
Check for updates

Г.Б. Бахадирова[1], Н. Тасболатұлы[*], А.А. Танирбергенова[2], К.С. Бакенова[2]
[1]Астана халықаралық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қабанбай батыр даңғылы, 8
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ., Пушкин көшесі, 11
[*]e-mail: tasbolatuly@gmail.com

PYTHON ТІЛІНДЕ КЕРІ БАЙЛАНЫС АРҚЫЛЫ ЖОҒАРЫ РЕТТІ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІ БАСҚАРУДЫ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа: *Мақалада үшінші ретті сызықтық емес жүйе, бір буынды робот-манипулятор қозғалысын басқару, сызықтық емес жүйенің ПИТ контроллері, анықталмаған ауыспалы сызықтық емес жүйелер үшін шығыс сигналын басқару, уақыты кешіккен жоғары ретті ауыспалы сызықтық емес жүйелерді кері байланыс арқылы глобальды басқару атты бес түрлі мысалды біріктіріп, «Кері байланыс арқылы жоғары ретті сызықтық емес жүйелерді басқаруды компьютерлік модельдеу» атты бағдарламалық кешеннің құрылуы сипатталған. Мысалдың нәтижелері компьютерлік модельдеу арқылы нәтижеге қол жеткізіліп, тиімділігін дәлелдедеудің ең тиімді құралы ретінде Python 3.12.1 нұсқасындағы бағдарламалау тілі таңдалып, осы бағдарламалау тілінің кітапханалары және модульдерінің қолдану мүмкіндігі көрсетілген. Python тілі ғылыми есептеулер, деректер ғылымы және машиналық оқыту салаларында әлі күнге дейін ең қолайлы бағдарламалау тілі болып қала береді. Ол төмен деңгейлі кітапханаларды және түсінікті жоғары деңгейлі API интерфейстерін пайдалану арқылы өнімділік пен тиімділікті арттырады. Құрылған бағдарламалық кешен жоғары ретті ауыспалы сызықтық емес жүйелердің орнықтылығын қамтамасыз етіп, нақты инженерлік жүйелердің орнықтылығы мен тиімділігі, басқару сапасын арттыруға жағдай жасайды. Жасалған кешен ғылыми-зерттеу жұмыстарында, оқу үдерісінде, өндірістік автоматтандыруда және робототехникада тиімді қолданылуға бейімделген. Бағдарламалық кешеннің қолданудың тиімділігі қолданушылар мысалда берілген параметрлерді өз қажеттіліктеріне сәйкес өзгертіп, мысалдың нәтижелерін дербес талдап, зерделеуге мүмкіндігі бар.*

Түйін сөздер: *Python, жоғары ретті сызықтық емес жүйе, бағдарламалық кешен, NumPy, Matplotlib, Tkinter.*

Кіріспе. Python қазіргі кезде ең көп таралған жоғары дәрежелі, объектіге-бағытталған бағдарламалау тілі болып саналады. Python бағдарламалау тілі жүйелік бағдарламалау, графикалық интерфейсі бар бағдарламаларды әзірлеуде, ғылыми есептеулерде, деректерді талдауда, машиналық оқытуда, әртүрлі тапсырмаларды автоматтандыру үшін және т.б. бағдарламалық өнімді әзірлеуде кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, Python файлдармен, желілермен, веб-қызметтермен және басқалармен жұмыс жасауға арналып, пайдалануға дайын көптеген мүмкіндіктер мен модульдерді ұсынатын кең стандартты кітапхананы құрайды және үлкен көлемді функцияларды қамтиды.

Атап айтқанда, Python Control Systems (python-control) кітапханасы – сызықтық емес жүйелерді модельдеу, талдау және басқару алгоритмдерін жобалауда да қолданылады. Бұл әрі ашық кодты Python тілі негізінде әзірленіп, басқару жүйелерін зерттеуге арналған тиімді бағдарламалық орта ретінде қалыптастыруға арналған әмбебап құрал.

Кері байланыс арқылы жоғары ретті сызықтық емес жүйелерді басқаруға арналған бағдарламалық кешенді қолдану арқылы басқару теориясындағы сызықтық емес жүйеге арналған есептерді шешуді едәуір жеңілдетіп, уақытты қысқартады. Бағдарламалық кешенде келтірілген мысалдар Python бағдарламалау тілінің стандартты (*Tkinter, os, sys, threading, subprocess)* және қосымша кітапханалары мен модульдері көмегімен құрылып, жасалды. Бағдарламалық кешенде әрбір компонент өзінің функционалдық міндеттеріне сай қолданылды: графикалық интерфейс құру үшін – *Tkinter*, кескіндерді өңдеуге арналған – *Pillow*, визуализациялау үшін – *Matplotlib*, ал сандық есептеулер үшін – *NumPy* кітапханасы қолданылған.

Tkinter бұл Python тіліне ендірілген, Graphical User Interface (GUI) графикалық пайдаланушы интерфейсін жобалауға арналған стандартты кітапхана. Бұл кітапхананың көмегімен біз бағдарламалық кешенде терезелер, батырмалар, мәтіндік өрістер және өзге де

басқару элементтерін құра аламыз [2].

OS os.path.isfile функциясы арқылы файлдың бар-жоғын тексеруге және файлдық жүйемен жұмыс істеуге арналған немесе операциялық жүйеге байланысты командаларды орындауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, os – файлдар мен жолдардың бар-жоғын тексеруге арналған [3].

Бағдарлама ішінде бірнеше ағын құру арқылы параллель есептеулер жүргізуге мүмкіндік беретін, бұл бағдарламалық кешеннің кодында қолданылмаған, бірақ импортталған *Threading* көп ағынды бағдарламалауға арналған модуль болып табылады [4].

Python ішінен сыртқы бағдарламаларды немесе скрипттерді орындауға мүмкіндік беретін (call функциясы) – бұл бағдарламалық кешеннің кодында қолданылмаған, бірақ импортталған *Subprocess* жүйелік командаларды орындауға арналған модуль болып табылады [5].

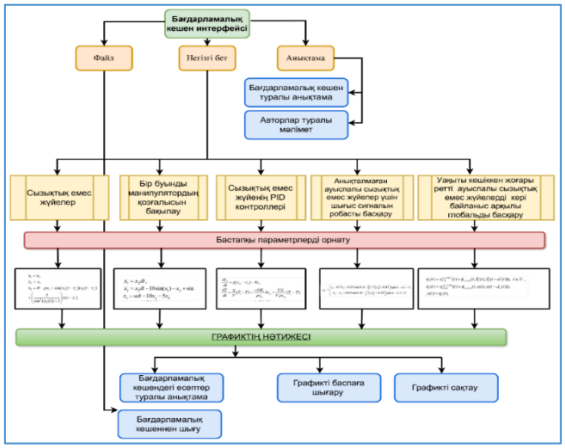
NumPy үлкен сандық есептеулерге арналған көп өлшемді массивтермен (n-dimensional arrays) және матрицалармен жұмыс жасауға арналған, сандық талдау, векторлық және математикалық, матрицалық операциялардың кең ауқымын қолдайтын, негізгі есептеулерді орындауға арналған кітапхана.

Matplotlib – (matplotlib.pyplot модулі) кітапханасы жоғары сапалы сюжеттер мен визуализацияларды жасауға арналған құралдардың үлкен мүмкіндігін ұсынады, есептеулер нәтижелерін, графиктерді сызу, құру, визуализациялауға, tkinter терезесінде графиктерді көрсетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл сыртқы кітапхана болып табылады, оны *pip install matplotlib* командасы арқылы орнатуға болады [6].

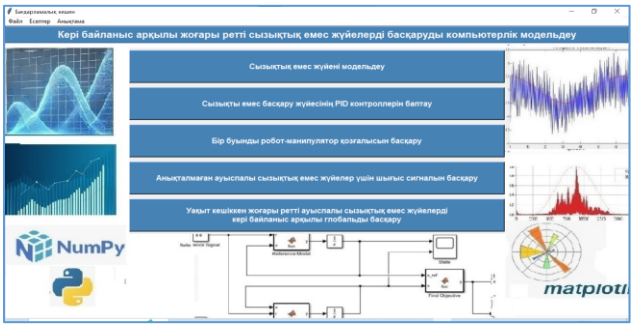
Pillow PIL (Python Imaging Library, қазіргі атауы Pillow) суреттерді ашу, көрсетуге (Image, ImageTk) өңдеуге арналған сыртқы кітапхана. Tkinter терезесінде суреттерді көрсетуде ImageTk.PhotoImage қолданылады [7]. Сызықтық емес жүйелердің ПИТ контроллеріне арналған есепте дифференциалдық теңдеулерді шешу үшін SciPy кітапханасының odeint() функциясы қолданылады. Odeint() функциясын пайдалана отырып, параметрлер мәндерін енгізуге мүмкіндік беретін интерфейс құрылады [8].

Зерттеу шарттары мен әдістері

Бағдарламалық кешеннің негізгі зерттеу шарттары кері байланыс арқылы жоғары ретті сызықтық емес жүйелерді басқаруды компьютерлік модельдеу болып табылады. Бағдарламалық кешеннің алғашқы беті негізгі мәзірден: Файл, Негізгі бет, Анықтама туралы ақпараттан тұрады; бағдарламалық кешенде қарастырылған есептер: сызықтық емес жүйе, бір буынды робот-манипулятор қозғалысын басқару, сызықтық емес жүйенің ПИТ контроллері, анықталмаған ауыспалы сызықтық емес жүйелер үшін шығысын басқару, уақыт кешігуі бар жоғары ретті ауыспалы сызықтық емес жүйелерді кері байланыс арқылы глобальды басқару [9] (1 сурет).



а



ә

Сурет 1 – «Кері байланыс арқылы жоғары ретті сызықтық емес жүйелерді басқару» атты бағдарламалық кешеннің жұмыс жасау алгоритмі мен негізгі терезесі

Нәтижелер мен талқылаулар.

1-мысал: Үшінші ретті сызықтық емес жүйе берілген болса:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= x_3 \\ \dot{x}_3 &= \theta - p x_3 + \sin(x_2(t-\tau_s)) x_3(t-\tau_s) + \left(\frac{5}{\sin^2(x_2(t))+1}\right) u(t-\tau_i) \end{aligned} \quad (1.1)$$

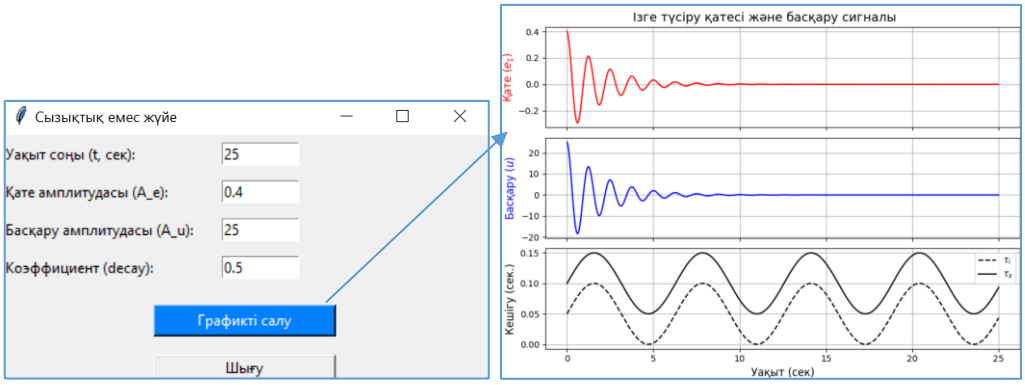
θ=2 және p=5, $ui(t)\ @-\mu u(t)\ -kr(t)$ – дан алынған басқару заңы және берілген жүйенің қалаған траекториясын ізге түсіру үшін іске асырылады: $x_{1d}(t) = \left\{\left(\sin\left(\frac{t}{4}\right)+0.3\right)\left(1-e^{-0.01t^3}\right)\right\}$

Үшінші ретті сызықтық емес жүйенің динамикасын модельдеу (1.1)-де берілген синусоидалық күй және кіріс кідірістерімен орындалады. Бастапқы күй мәндері ретінде [0.5 0.2 - 0.8] алынады. Кіріс және күй кешігулері келесідей анықталады:

$\tau_i(t) = 0.05 + 0.05\sin(t)$ sec және $\tau_s(t) = 0.05 + 0.05\sin(t)$ sec

Берілген жүйе үшін ізге түсіру мен басқару сигналының жауаптары төмендегі суретте келтірілген. $ui(t)\ @-\mu u(t)\ -kr(t)$ – да берілген басқару заңын қолдану арқылы 0.01 мәніне тең RMS қатесі (Root Mean Square) алынады.

Бағдарламалық кешеннің «Сызықтық емес жүйелер» мәзірі таңдалған жағдайда, үшінші ретті сызықтық емес жүйенің графикасы төменде келтірілген (2 сурет).



Сурет 2 – Үшінші ретті сызықтық емес жүйенің графигі

Мысал 2. Бір буынды робот-манипулятордың математикалық моделі болса, жүйенің динамикасын сипаттайтын теңдеу төменде келтірілген:

$$\begin{aligned} D\ddot{q} + B\dot{q} + N\sin(q) &= \tau + \tau_d, \\ M\dot{\tau} + H\tau &= u - K_m\dot{q} \end{aligned} \quad (2.1)$$

мұнда q – робот буынының позициясы, $\dot{q}$ – робот буынындағы жылдамдығы, $\ddot{q}$ – робот буынындағы үдеу, τ – электрлік ішкі жүйеден бұралуы, $\Delta\tau$ – бұралу уақыттағы ауытқу, u – электромеханикалық сәтті белгілеуге арналған басқару немесе кіріс шама; $D = 1kg \cdot m^2$ – механикалық инерция; $B = 1Nms/rad$ – робот буынының үйкеліс коэффициенті; $N = 10$ – жүктің массасы мен гравитация коэффициентіне қатысты оң тұрақтысы; M=0.2 H – ротор индуктивтілігі; $H = 0.2\Omega$ – ротор кедергісі, $K_m = 10Nm/A$ – кері электр қозғалтқышындағы күш коэффициенті [10].

Тегіс координат түрлендіру төмендегідей болады:

$$\begin{aligned} x_1 &= q, \\ x_2 &= \dot{q} \\ x_3 &= \tau \end{aligned} \quad (2.2)$$

(2.2) жүйе келесі түрге ауысады: $\dot{x}_1 = x_2 dt,$ (2.3)

Бұл теңдеу бірінші күй айнымалысы x_1-дің уақыт бойынша өзгеруін сипаттаса, мұнда x_1 күй айнымалысының жылдамдығы x_2-ге пропорционал екені байқалады:

$$\dot{x}_2 = x_3 dt - 10\sin(x_1) - x_2 + \sin \quad (2.4)$$

Екінші күй айнымалысы x_2-нің уақыт бойынша өзгеруі болса, теңдеуде x_3-ке байланысты терм x_2-нің өзгеруі басқарылады, сонымен қатар $\sin(x_1)$ және $x_1(t-d)$ секілді сызықтық емес элементтер арқылы жүйенің күрделілігін көрсетсе, уақыт кешігуін сипаттайтын $d-$ параметрі маңызды рөл атқарады.

$$\dot{x}_3 = udt - 10x_2 - 5x_3 \quad (2.5)$$

Үшінші күй айнымалысы x_3-тің уақыт бойынша өзгеруін сипаттайды. Бұл жерде басқару кіріс болып табылады және x_2 мен x_3-ке қатысты термдер арқылы жүйенің динамикасына әсер етеді.

Сызықтық емес элементтер жүйенің күрделілігін көрсетсе, нақты жүйелердің күйін дәл компьютерде модельдеуге мүмкіндік береді, мұндағы x_1, x_2, x_3- жүйе күйі және u-басқару немесе кіріс сигнал болып табылады [11]. Контроллер келесі түрде болады:

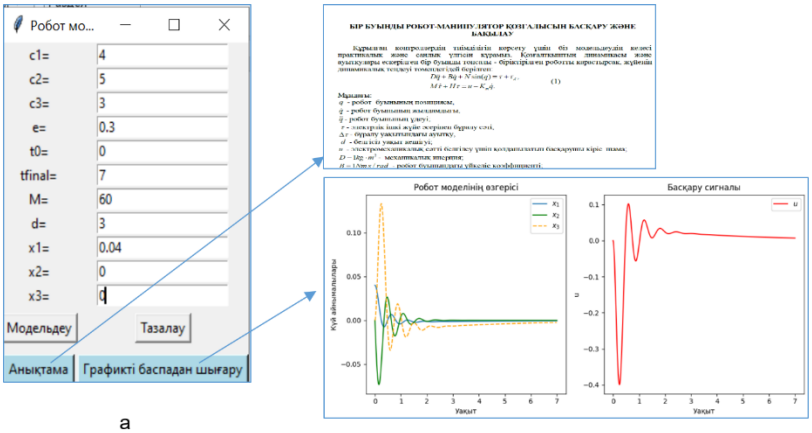
$z_1 = x_1,\ z_2 = x_2 - \alpha_2,\ z_3 = x_3 - \alpha_3$.

мұнда $\alpha_2 = -z_1\beta_1,\quad \alpha_3 = -z_2\beta_2,$ Робот-манипулятор үшін басқару заңының жалпы түрі төмендегідей болады. Ол жүйенің күй қателіктеріне пропорционал сигналдарды қамтып, траекторияны дәл ізге түсуді қамтамасыз етеді: $u = -z_3\beta_3,\ \dot{\theta} = \sum_{i=1}^{3} \frac{1}{2}\Gamma |z_i|^3$ (2.6)

мұндағы, $\beta_1 = c_1 + \Phi_1(\hat{\theta}), \beta_2 = c_2 + \Phi_2(\hat{\theta}), \beta_3 = c_3 + \Phi_3(\hat{\theta}), \Gamma > 0, c_1 > 0, c_2 > 0$ мәндері конструкциялық константалар болып табылады. $i = 1,2,3$ үшін $0 < \varepsilon_i < 1$ және $\xi_i > 0$ тұрақтылар, $\Phi_i(\cdot) = (3\psi_i / 4)^{4/3}(1/3\xi_i)^{1/3}$ $\Phi_i(\cdot) = (3\psi_i / 4)^{4/3}(1/3\xi_i)^{1/3}$ және $\psi_i(\cdot) = 1 + \left(\sqrt{1+\hat{\theta}^2/2}\right) + \left(\varepsilon_i^2/2\right)$. $\beta_i (i = 1,2,3)$ - параметрлер, және олар c_i және $\Phi_i(\hat{\theta})$ қосындылары ретінде анықталса, $c_i (i = 1,2,3)$ - оң тұрақтылар, $\Phi_i(\hat{\theta})(i = 1,2,3)$ – айнымалылар $(\hat{\theta})$ арқылы анықталады. $(\hat{\theta})$ – кейбір параметрдің бағалануы. $\Gamma > 0$ – оң мәнді тұрақты. $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – бұл жүйенің динамикасы немесе басқару параметрлерін анықтайтын айнымалылар. $\Phi_i(\hat{\theta})$ – функция $(\hat{\theta})$ арқылы анықталады, мұнда $(\hat{\theta})$ – кейбір жүйе параметрінің бағалауы. Бұл бағалаулар жүйенің динамикасын немесе басқаруды түзету үшін қолданылады. c_i - оң тұрақтылар, олар мәндерін белгілі бір шектерде ұстау үшін қажет. Жүйенің динамикасын модельдеуде жоғарыда келтірілген формулалар қолданылады .

Компьютерлік модельдеудегі тұрақтылары:

$c_1 = 4, c_2 = 5, c_3 = 3, \varepsilon_i = 0.2, \xi_i = 0.01 (i = 1,2,3)$ және $M = 60$. Бастапқы шарттар $x_1(0) = 0.04\quad x_2(0) = 0\quad x_3(0) = 0$ және $\hat{\theta}(0) = 0.\ d = 2$ басқарудың нәтижесі, басқару график арқылы дәлелденіп, төмендегі 1.4.3-суретте келтірілген [11] (3 сурет).



а ә

Сурет 3 – Бір буынды робот-манипулятордың қозғалысын басқару есебінің анықтама және параметрлер мәндерін енгізу интерфейсі, графигі

Мысал 3. Жүйеде температура деңгейі салқындату суының ағыны мен оның температурасына тәуелді түрде бақыланып, температура мәні салқындатқыш қаптаманың ішіндегі химиялық реакция жылдамдығына тікелей әсер етеді. Реакция нәтижесінде алынатын химиялық материал маңызды өнім ретінде қарастырамыз. Осыған байланысты, салқындатқыш судың ағыны мен температурасы өндірілетін өнімнің сапасын анықтайтын негізгі факторлар болса, ПИД контроллерін қолдану арқылы аталған параметрлерді дәл реттеу өнім сапасын арттыруда тиімді болып табылады.

Салқындатқыш жүйенің сипаттамалық параметрлері төмендегі суретте берілген. ПИД контроллерін тиімді баптаудың маңыздылығын көрсету үшін жүйенің динамикалық теңдеулерін қарастырсақ, бұл жүйе салқындатқыш су мен химиялық реактор арасындағы энергия алмасу процесіне негізделген модель арқылы сипатталатынын байқауға болады (4 сурет).

Энергия балансының теңдеуі төмендегідей: $$\frac{dc_a}{dt} = q(c_{ai} - c_a) - Vkc_a \quad (3.1)$$

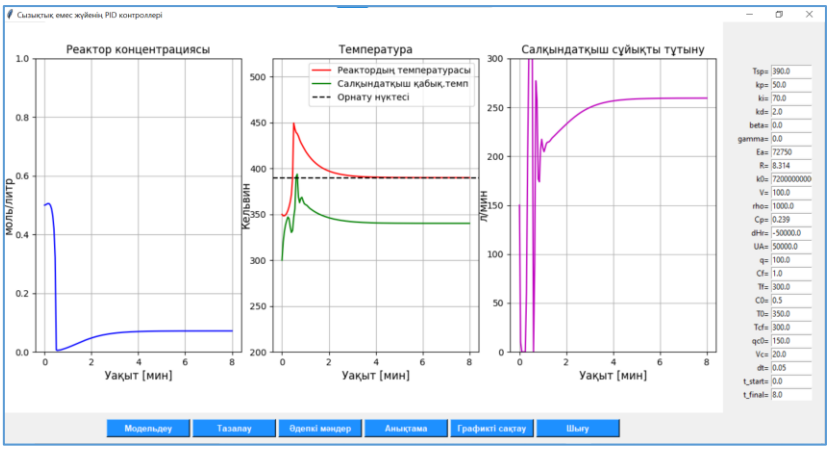
$$V\rho c_p \frac{dT}{dt} = \omega c_p (T_i - T) + (-\sigma H_r Vkc_a + UA(T_c - T) \quad (3.2)$$

Осыдан кейін бұл жүйе басқару құрылғысын жобалау үшін нормализациялануы қажет:

$$\frac{dc_a}{dt} = q(c_{ai} - c_a) - kc_a \quad (3.3)$$

осы динамиканың нәтижесінде алынатын шығыс шамасын сипаттайтын теңдеу:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{q}{V}(T_i - T) + \frac{-\delta H_r}{\rho c_p} kc_a + \frac{UA}{V\rho c_p}(T_c - T) \quad (3.4)$$



Сурет 4 – Сызықтық емес жүйенің ПИД контроллері есебінің параметрлер мәндерін енгізу интерфейсі және графиктің нәтижесі

Химиялық реакцияның жүру процесі салқындатқыш қаптама арқылы реттеледі, мұндағы басқарушы параметр – салқындатқыш сұйықтықтың температурасы, реакция өнімдерінің сипаттамалары жылу алмасу ортасының температурасы мен ағу жылдамдығына тікелей тәуелді болады. Химиялық реакцияның жүруіне салқындатқыш қаптамадағы судың температуралық режимі әсер етіп, реакция өнімдерінің параметрлері жылу алмасушы ортаның ағу жылдамдығы мен температуралық шамаларына тәуелді болады [12].

D-функциясының мәнін көбейетсек, жүйе динамикасына әсері басқа параметрлермен салыстырғанда көбірек екені салыстырылады. Бұл аталған функцияның шу процесі кезінде мәнінің тез артуымен және жүйедегі кенеттен өзгерістерге жауап берудегі маңыздылығымен түсіндіруге болады. Сонымен қатар, ол сыртқы ықпалдарды басу және басқару жүйесінің тұрақтылығын қамтамасыз ету тұрғысынан шешуші рөл атқарады.

Мысал 4. Сыртқы кедергілері бар, анықталмаған желілік басқару жүйесін төмендегідей қарастырсақ: Басқару мақсатына қол жеткізуге арналған жүйеге кері байланыс принципіне негізделген басқару заңы енгізілсе, $\sigma:[0,\infty)\to\{1,2\}$, номиналды ішкі жүйелер келесідей өрнектеледі:

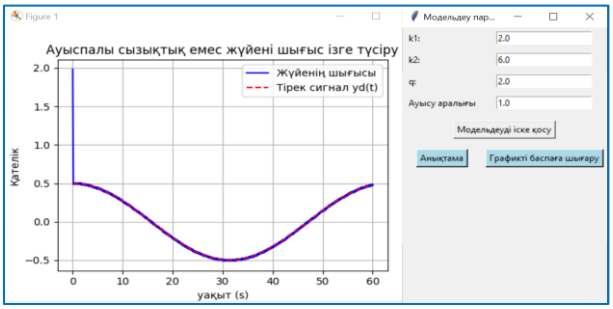
$$\dot{x}_1=-x_1+\frac{1}{2}x_2^3, \qquad \dot{x}_1=x_1-x_2,$$
$$\dot{x}_2=-x_1-0.5x_2+u_1, \qquad \dot{x}_2=-x_1+x_2+u_2,$$
$$y=x_2 \qquad y=x_{2,}$$

$u_1=x_1+v_1$ және $u_2=-x_1+v_2$ болса, анықталмаған сыртқы кедергілер келесідей болады: $\sum_1=\sin t/2, \sum_2=\cos t/2, F_1=\sin t, F_2=0.5\cos t,$ және D=E=1. Тірек сигналының траекториясы $y_d(t)=0.5\cos 0.1t$. Сыртқы кедергілері бар анықталмаған ішкі жүйелер төмендегідей өрнектеледі:

$$\dot{x}_1=x_1+\frac{1}{2}x_2^3, \qquad \dot{x}_1=x_1-x_2,$$
$$\dot{x}_2=(-0.5+\Delta A_1)x_2+v_1+F_1, \qquad \dot{x}_2=(1+\Delta A_2)x_2+v_2+F_2,$$
$$y=x_{2,} \qquad y=x_2$$

Келесі орташа орнықтану уақытын қолдана отырып, өзгермелі құрылымды контроллер құрастырылып, шығыс сигналын ізге түсіру есебінің шешімі құрылды. $v=1,\varepsilon_1=\varepsilon_2=1$ болса, $P=1,K=-7/2$ мәндері табылды. $k_1=1,k_2=5$ және $\rho(t)=1$ бастапқы күйі: $[-2 \quad 2]^T$, ал қателік $e=x_2-y_d$ түрінде анықталды. x_1 айнымалысына арналып, келесі түрде болады: $W_1(x_1)=x_1^2, W_2(x_1)=2x_1^2,\ \lambda_s=1,\lambda_u=2.5,\gamma_{01}(\|x_1\|)=16x_2^6,\gamma_{02}(\|x_1\|)=4x_2^2,$ және $\mu=2.\ \tau_0=\tau=0$ және $\rho=0.15$ таңдалса, орташа күту уақыты $\tau_a\geq\tau_a^*=1.725$ болады. Айнымалы құрылымды контроллерлер төмендегідей келтірілді (5 сурет): [13]

$$u_i=\begin{cases}x_1-0.5x_2+0.05\sin 0.1t-\left[1.5\|x_2\|+6.05\right]\operatorname{sgn}e-e, i=1,\\ -x_1-x_2+0.05\sin 0.1t-\left[2\|x_2\|+6.05\right]\operatorname{sgn}e-e, i=2\end{cases}$$



Сурет 5 – Ауыспалы сызықтық емес жүйені шығыс ізге түсірудің графигі және параметрлер мәнін енгізу, іске қосу терезесі

Мысал 5. Уақыт кешігуі бар жоғары ретті ауыспалы сызықтық емес жүйе төмендегідей берілген болсын:

$$\begin{aligned}
\dot{\eta}_1 &= \eta_2^{p1,\sigma(t)} + \varphi_{1,\sigma}(t)\left(\bar{\eta}_1, \bar{\eta}_1\left(t-d_1(t)\right)\right),\\
\dot{\eta}_2 &= u_{\sigma(t)}^{\rho 2,\sigma(t)} + \varphi 2,\sigma(t)\left(\eta, \eta\left(t-d_2(t)\right)\right),\\
y &= \eta_1,
\end{aligned} \tag{5.1}$$

мұнда $\sigma(t):[0,\infty)\to M=\{1,2\}$, $p_{1,1}=1$, $p_{1,2}=\frac{7}{5}$,

$p_{2,1}=4$, $p_{2,2}=\frac{7}{5}$, $d_1(t)=\frac{\cos(t)+3}{5}$, $d_2(t)=\frac{\sin(t)+1}{2}$,

$\varphi_{1,1}(\cdot)=\frac{3}{5}\eta_1^{\frac{2}{3}}\sin(\eta_1)+\left(\eta_1\left(t-d_1(t)\right)\right)^{\frac{2}{3}}$, $\varphi_{1,2}(\cdot)=\frac{1}{2}\eta_1^{\frac{14}{15}}+\frac{2}{9}\left(\eta_1\left(t-d_1(t)\right)\right)^{\frac{14}{15}}$,

$\varphi_{2,1}(\cdot)=\eta_1^{\frac{1}{3}}\sin(\eta_2)+\eta_2^{\frac{1}{2}}\sin(\eta_1)+\frac{2}{11}\left(\eta_1\left(t-d_1(t)\right)\right)^{\frac{1}{3}}-\left(\eta 2\left(t-d_2(t)\right)\right)^{\frac{1}{2}}$,

$\varphi_{2,2}(\cdot)=-\eta_1^{\frac{3}{5}}\sin(\eta_2)+\eta_2^{\frac{9}{2}}\sin(\eta_1)+\left(\eta_1\left(t-d_1(t)\right)\right)^{\frac{3}{5}}-\frac{5}{9}\left(\eta_2\left(t-d_2(t)\right)\right)^{\frac{9}{10}}$.

$\tau_1=-\frac{1}{3}$, $\tau_2=-\frac{1}{15}$, $r_1=1$, $q_{1,1}=q_{1,2}=0$, мұнда $r_2=\frac{2}{3}$, $r_3=\frac{1}{9}$, $q_{2,1}=1$, $q_{2,2}=\frac{5}{7}$ таңдалса, $q_{3,1}=\frac{2}{3}$, $q_{3,2}=\frac{20}{21}$ және $|\varphi_{1,1}(\cdot)|\le\frac{3}{5}|\eta_1|^{\frac{2}{3}}+|\eta_1\left(t-d_1(t)\right)|^{\frac{2}{3}}$, $|\varphi_{1,2}(\cdot)|\le\frac{1}{2}|\eta_1|^{\frac{14}{15}}+\frac{2}{9}|\eta_1\left(t-d_1(t)\right)|^{\frac{14}{15}}$,

$|\varphi_{2,1}(\cdot)|\le|\eta_1|^{\frac{1}{3}}+|\eta_2|^{\frac{1}{2}}+\frac{2}{11}|\eta_1\left(t-d_1(t)\right)|^{\frac{1}{3}}+|\eta_2(t-d_2(t))|^{\frac{1}{2}}$, $|\varphi_{2,2}(\cdot)|\le|\eta_1|^{\frac{3}{5}}+|\eta_2|^{\frac{9}{10}}+|\eta_1\left(t-d_1(t)\right)|^{\frac{3}{5}}+\frac{5}{9}|\eta_2(t-d_2(t))|^{\frac{9}{10}}$,

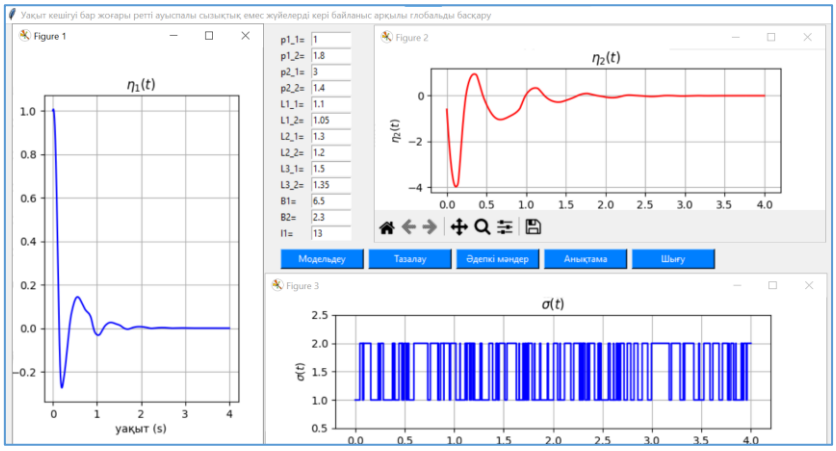
Координатталарды түрлендірсек, жүйе келесі түрде болады:

$$\begin{aligned}
\dot{\eta}_1 &= \eta_2^{p1,\sigma(t)} + \varphi_{1,\sigma}(t)\left(\bar{\eta}_1, \bar{\eta}_1\left(t-d_1(t)\right)\right),\\
\dot{\eta}_2 &= u_{\sigma(t)}^{\rho 2,\sigma(t)} + \varphi 2,\sigma(t)\left(\eta, \eta\left(t-d_2(t)\right)\right),\\
y &= \eta_1,\\
\dot{x}_1 &= \bar{L}_{1,\sigma(t)} x_2^{\rho 1,\sigma(t)} + \frac{\phi_{1,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_1},\\
\dot{x}_2 &= \bar{L}_{2,\sigma(t)} v_{\sigma(t)}^{p2,\sigma(t)} + \frac{\phi_{2,\sigma(t)}(\cdot)}{\varpi_2},\\
y &= x_1,
\end{aligned} \tag{5.2}$$

мұнда $\varpi_i = L_{i,\sigma(t)}^{qi,\sigma(t)}$, $\bar{L}_{i,\sigma(t)} = L_{i+1,\sigma(t)}^{qi,\sigma(t)+1} / L_{i,\sigma(t)}^{qi,\sigma(t)}$ $i=1,2.$

$$\begin{aligned}
\dot{\xi}_2 &= \bar{L}_{1,\sigma(t)} l_1 \hat{x}_2^{\rho 1,\sigma(t)},\ \hat{x}_2 = \left(\xi_2 + l_1 x_1\right)^{\frac{r2}{r1}}\\
u_{\sigma(t)} &= -L_{3,\sigma(t)}^{q3,\sigma(t)} \beta_2 \left(\hat{x}_2^{\frac{1}{r2}} + \beta_1^{\frac{1}{r2}} x_1 \right)^{r3}
\end{aligned} \tag{5.3}$$

Компьютерде модельдеп, жауабын алу үшін жобалау параметрлері келесідей: $\beta_1=2.7$, $\beta_2=1.8$, $l_1=14$, $L_{1,1}=1.2$, $L_{1,2}=1.07$, $L_{2,1}=1.3$, $L_{2,2}=1.2$, $L_{3,1}=1.6$, $L_{3,2}=1.36$. Модельдеу нәтижелері төмендегідей бастапқы мәндермен көрсетіледі: $\eta_1(0)=1, \eta_2(0)=-0.6, \xi_2(0)=0.$ $\eta_1(t), \eta_2(t)$ жүйе күйлерінің және ξ_2 бақылаушы күйінің уақыт бойынша қалай өзгеретін жауаптары график түрінде төмендегі суреттерде келтірілген, осыдан біз мысалдың дұрыстығын байқауымызға болады [14] (6 сурет).



Сурет 6 – 4 мысалдың параметрлерінің мәндерін енгізу, графиктің нәтижесін шығару терезесі

Қорытынды. Python тілін қолдана отырып, «Кері байланыс арқылы жоғары ретті сызықтық емес жүйелерді басқару» тақырыбына жүргізілген компьютерлік модельдеу жоғары ретті ауыспалы сызықтық емес жүйелердің динамикасын зерттеуге мүмкіндік береді. Бұл бағдарламалық кешенде мысалдарды компьютерлік модельдеуде NumPy, Matplotlib кітапханалары қолданылады, олар деректерді өңдеуді, графикалық бейнелеуді және жүйенің түрлі параметрлерін салыстыруды қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, графикалық модельдер арқылы (мысалы, PID-контроллерді баптау, робот-манипулятордың қозғалысын басқару) нақты инженерлік есептердің сандық шешімдері алынады. Дегенмен, бұл құралдарға сұраныс жоғары, себебі сызықтық емес жүйенің шешімін табу, сондай-ақ бұл шешімдерді іздеудің ерекшеліктерін білу – мұндай жағдайлар жиі кездесетін көптеген ғылыми және практикалық есептерді шешуде ғана емес, сонымен қатар сызықтық емес есептерін шешудің алгоритмдері мен орнықтылық әдістерін және компьютерлік моделін білім беру жүйесінде қолдану барысында да аса маңызды болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Control of nonlinear system by means of feedback using the Python-control library / B.G. Bekualykyzy et al // Proceedings of the IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). – Astana, 2024. – P. 164-168.
2. Hunt J. Advanced guide to Python 3 programming. – Berlin / J. Hunt; Springer, 2019. – P. 35-42.
3. Язык программирования Python / Россум Г., и др. пер. с англ. – М.; СПб., 2001. – 454 с.
4. Matloff N. Tutorial on Threads Programming with Python / N. Matloff, F. Hsu; Davis: University of California, 2009. – 25 p.
5. Ortega J.M. Python for Security and Networking / J.M. Ortega // Leverage Python modules and tools in securing your network and applications. – Packt Publishing, 2023.
6. Васильев Ю. Python для Data Science / Ю. Васильев; – СПб.: Питер, 2023. – 272 с.
7. Sundnes J. Solving ordinary differential equations in Python / J. Sundnes; – Oslo, 2024. – 124 с.
8. Борзунов С.В., Кургалин С.Д. Языки программирования. Python: решение сложных задач / С.В. Борзунов, С.Д. Кургалин. – СПб., 2023. – 192 с.
9. Бахадирова Г.Б., Тасболатұлы Н., Кері байланыс арқылы жоғары ретті сызықтық емес жүйелерді басқару : ЭЕМ-ге арналған бағдарлама / Куәлік № 54131; тіркелген 03.02.2025 ж. ҚР Әділет министрлігі Ұлттық зияткерлік меншік институты. – 10 б.
10. Spong M.W. Robot modeling and control / M.W. Spong, S. Hutchinson, M. Vidyasagar; New York: Wiley, 2006. – 478 p.
11. Bakhadirova G.B. Control of the movement of a single-link robot manipulator in Python / G.B. Bakhadirova, N. Tasbolatuly // Abstracts of the International Scientific Conference of Young Scientists «Informatics. Mathematics. Automation (IMA: 2024)». – Sumy; Astana, 2024. – P. 317-319
12. Kim D.H. Advanced Lecture for PID Controller of Non-linear systems in Python / D.H. Kim // International Journal of Recent Engineering and Technology. – 2021. – Т. 9, № 6.– P. 20-29.

13. Бахадирова Г.Б. Анықталмаған ауыспалы сызықтық емес жүйелер класы үшін шығыс сигналын басқарудың компьютерлік моделі / Г.Б. Бахадирова, Н. Тасболатұлы // Қазақстан Республикасы Ұлттық инженерлік академиясының Хабаршысы. – 2025. – № 1(95). – Б. 49-58.
14. Jiang Y. Global output feedback control for a class of high-order switched nonlinear systems with time-varying delays / Y. Jiang, J. Zhai // International Journal of Systems Science. – 2020. – Т. 51, № 6. – P. 1053-1065.

References

1. Control of nonlinear system by means of feedback using the Python-control library / B.G. Bekualykyzy et al // Proceedings of the IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). – Astana, 2024. – P. 164-168. (In English).
2. Hunt J. Advanced guide to Python 3 programming. – Berlin / J. Hunt; Springer, 2019. – P. 35-42. (In English).
3. Yazyk programmirovaniya Python / Rossum G., i dr. per. s angl. – M.; SPb., 2001. – 454 s. (In Russian).
4. Matloff N. Tutorial on Threads Programming with Python / N. Matloff, F. Hsu; Davis: University of California, 2009. – 25 p. (In English).
5. Ortega J.M. Python for Security and Networking / J.M. Ortega // Leverage Python modules and tools in securing your network and applications. – Packt Publishing, 2023. (In English).
6. Vasil'ev YU. Python dlya Data Science / YU. Vasil'ev; – SPb.: Piter, 2023. – 272 s. (In Russian).
7. Sundnes J. Solving ordinary differential equations in Python / J. Sundnes; – Oslo, 2024. – 124 s. (In English).
8. Borzunov S.V., Kurgalin S.D. Yazyki programmirovaniya. Python: reshenie slozhnykh zadach / S.V. Borzunov, S.D. Kurgalin. – SPb., 2023. – 192 s. (In Russian).
9. Bakhadirova G.B., Tasbolatұly N., Keri bailanys arқyly zhoғary retti syzyқtyқ emes zhүielerdi basқaru : EHEM-ge arnalғan barғdarlama / Kuəlik № 54131; tirkelgen 03.02.2025 zh. ҚR Ədilet ministrligi Ұlttyқ ziyatkerlik menshik instituty. – 10 b. (In Kazakh).
10. Spong M.W. Robot modeling and control / M.W. Spong, S. Hutchinson, M. Vidyasagar; New York: Wiley, 2006. – 478 p. (In English).
11. Bakhadirova G.B. Control of the movement of a single-link robot manipulator in Python / G.B. Bakhadirova, N. Tasbolatuly // Abstracts of the International Scientific Conference of Young Scientists «Informatics. Mathematics. Automation (IMA: 2024)». – Sumy; Astana, 2024. – P. 317-319. (In English).
12. Kim D.H. Advanced Lecture for PID Controller of Non-linear systems in Python / D.H. Kim // International Journal of Recent Engineering and Technology. – 2021. – Т. 9, № 6.– P. 20-29. (In English).
13. Bakhadirova G.B. Anyқtalmaғan auyspaly syzyқtyқ emes zhүieler klasy үshin shyғys signalyn basқarudyң komp'yuterlik modeli / G.B. Bakhadirova, N. Tasbolatұly // Қazaқstan Respublikasy Ұlttyқ inzhenerlik akademiyasynyң Khabarshysy. – 2025. – № 1(95). – B. 49-58. (In Kazakh).
14. Jiang Y. Global output feedback control for a class of high-order switched nonlinear systems with time-varying delays / Y. Jiang, J. Zhai // International Journal of Systems Science. – 2020. – Т. 51, № 6. – R. 1053-1065. (In English).

Г.Б. Бахадирова[1], Н. Тасболатұлы[1*], А.А. Танирбергенова[2],К.С. Бакенова[2]
[1]Международный университет Астана,
Республика Казахстан, г. Астана, проспект Кабанбай батыра 8
[2]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Республика Казахстан, г. Астана, улица Пушкина 11;
[*]e-mail: tasbolatuly@gmail.com

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМИ СИСТЕМАМИ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ НА ЯЗЫКЕ PYTHON

В статье описывается создание программного комплекса «Компьютерное моделирование управления высокоординатными нелинейными системами посредством обратной связи», в состав которого объединены пять различных примеров: управление нелинейной системой третьего порядка, управление движением однозвенного робота-манипулятора, ПИД-контроллер нелинейной системы, управление выходным сигналом неопределённых переключающихся нелинейных систем, а также глобальное управление высокого порядка переключающимися нелинейными системами с

запаздыванием по времени посредством обратной связи. Результаты примеров получены на основе компьютерного моделирования, при этом в качестве наиболее эффективного инструмента была выбрана версия языка программирования Python 3.12.1. В работе продемонстрированы возможности применения библиотек и модулей данного языка. Python продолжает оставаться одним из наиболее удобных языков программирования в области научных вычислений, науки о данных и машинного обучения. Он сочетает в себе высокую производительность и эффективность за счёт использования как низкоуровневых библиотек, так и понятных высокоуровневых API-интерфейсов. Разработанный программный комплекс обеспечивает устойчивость высокого порядка переключающихся нелинейных систем, что создаёт условия для повышения устойчивости, эффективности и качества управления реальными инженерными системами. Комплекс адаптирован для эффективного применения в научно-исследовательской деятельности, учебном процессе, производственной автоматизации и робототехнике. Эффективность его использования заключается в возможности изменения пользователем параметров, представленных в примерах, в соответствии с собственными потребностями, а также в самостоятельном анализе и изучении полученных результатов.

Ключевые слова: *Python, нелинейная система высшего порядка, программный комплекс, NumPy, Matplotlib, Tkinter.*

G.B. Bakhadirova[1], H. Tasbolatuly[1*], A.A. Tanirbergenova[2], K.S. Bakenova[2]
[1]Astana International University,
Republic of Kazakhstan, Astana, 8Kabanbai Batyr Avenue
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Republic of Kazakhstan, Astana, Pushkin street 11
[*]e-mail: tasbolatuly@gmail.com

COMPUTER SIMULATION OF HIGH-ORDER NONLINEAR SYSTEMS CONTROL VIA FEEDBACK IN PYTHON

The article describes the development of a software package entitled «Computer Simulation of High-Order Nonlinear Systems Control via Feedback», which integrates five illustrative examples: a third-order nonlinear system, motion control of a single-link robotic manipulator, a PID controller for a nonlinear system, output regulation of uncertain time-varying nonlinear systems, and global feedback control of high-order time-delayed time-varying nonlinear systems. The results of the examples are obtained through computer simulation, with Python version 3.12.1 chosen as the primary programming language due to its proven effectiveness as a tool for demonstrating and validating system performance. The paper highlights the applicability of Python libraries and modules, emphasizing that Python remains one of the most suitable programming languages for scientific computing, data science, and machine learning. It enhances efficiency and performance by combining low-level libraries with clear high-level APIs. The developed software package ensures the stability of high-order time-varying nonlinear systems, thereby contributing to the stability, efficiency, and control quality of real engineering systems. It is designed for effective use in scientific research, educational processes, industrial automation, and robotics. The adaptability of the package allows users to modify example parameters according to their requirements, independently analyze the outcomes, and explore the results in detail.

Key words: *Python, high-order nonlinear system, software package, NumPy, Matplotlib, Tkinter.*

Information about the authors

Gulnaz Bekualykyzy Bakhadirova – PhD student. Astana International University, Kazakhstan; e-mail: gulnaz.bahadirova.84@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9464-9809.

Nurbolat Tasbolatuly* – associate professor, Astana International University, Kazakhstan; e-mail: tasbolatuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0511-7000.

Alua Amirkhanovna Tanirbergenova – PhD. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: Alua_15_1982@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8555-7315.

Kamila Serikovna Bakenova – PhD student. L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: bakenova.k@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-2567-173X.

Сведения об авторах

Гулназ Бекуалыкызы Бахадирова – PhD студент. Международный университет Астана, Казахстан; e-mail: gulnaz.bahadirova.84@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9464-9809.

Нұрболат Тасболатұлы* – ассоциированный профессор, Международный университет Астана, Казахстан; e-mail: tasbolatuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0511-7000

Алуа Амирхановна Танирбергенова – PhD. Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: Alua_15_1982@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8555-7315.

Камила Сериковна Бакенова – PhD студент. Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: bakenova.k@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-2567-173X.

Авторлар туралы мәліметтер

Гулназ Бекуалыкызы Бахадирова – PhD студент, Астана халықаралық университеті, Қазақстан; e-mail: gulnaz.bahadirova.84@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9464-9809.

Нұрболат Тасболатұлы – ассоциированный профессор, Астана халықаралық университеті, Қазақстан; e-mail: tasbolatuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0511-7000.

Алуа Амирхановна Танирбергенова – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: Alua_15_1982@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8555-7315.

Камила Сериковна Бакенова – PhD студент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: bakenova.k@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-2567-173X.

Редакцияға енуі 07.08.2025
Өңдеуден кейін түсуі 02.09.2025
Жариялауға қабылданды 03.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-18

BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 27.47.19

Б. Асанова[1], Б. Оразбаев[2*], Ж. Молдашева[1], Ж. Шангитова[1], А. Кушубаева[3]
[1]Атырауский университет имени Х. Досмухамедова,
E01Y6P0, Республика Казахстан, г. Атырау, пр. Студенческий, 212
[2]Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Z01A3D7, Республика Казахстан, г. Астана, ул. К. Сатпаева, 2
[3]Торайгыров Университет,
S14P3K7, Республика Казахстан, г. Павлодар, улица Ломова, 64
*e-mail: batyr_or@mail.ru

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЯНОГО КОКСА

Аннотация. *В данном исследовании создана система поддержки принятия решений с элементами интеллектуализации для управления процессом производства нефтяного кокса основанная на разработанные модели основных агрегатов установки замедленного коксования (УЗК) с учетой нечеткой информации от экспертов. Дано описание основных интерфейсов созданной интеллектуализированной системы поддержки принятия решений (ИСППР) с помощью которых пользователь системы моделирует различные режимы работы основных агрегатов УЗК, оптимизирует их параметров и эффективно управляет процессом производства кокса. Пользователь с помощью созданной ИСППР по разным критериям может управлять процессом производства кокса в зависимости от спроса на объем и требований к качеству кокса. Используя ИСППР пользователь системы может максимизировать объемы производимого кокса с требуемыми качественными показателями или обеспечить требуемый объем кокса с наилучшими качественными поазателями. В отличие от других систем, основанные на известные детерминированные модели УЗК, созданная ИСППР позволяет более адекватно моделировать, эффективно оптимизировать и управлять режимами работы УЗК. На основе сравнеие результатов моделирования для оптимизации режимов работы УЗК с использованием созданной ИСППР, известных систем детеминированного моделирования и оптимизации установлены преимущества созданной системы по сравнению известными аналогмичными системами.*

Ключевые слова: *нечеткая среда, нечеткие модели, система поддержки принятия решений, процесс коксования, интерфейс пользователя.*

Введение

Нефтяной кокс, получаемый путем глубокой переработки тяжелых остатков переработки нефти (гудрона, мазута) на установках замедленного коксования (УЗК), является самым качечственным коксом, который используется в космической технике, электронике, электротехнике и многих других отраслях производства [1-2]. В настоящее на мировом рынке время спрос на нефтяной кокс интенсивно растет. В связи с этим проблемы эффективного управления процессом производстыва нефтяного кокса на УЗК на основе современных интеллектуализированных систем поддержки принятия решений является весьма актуальной научно-практической задачей.

При управлении процессом производства кокса важным моментом является обеспечения необходимых качественных показателей получаемого кокса. На практике основные качественные показатели как зольность и летучесть кокса непосредственно измерительными системами не измеряется [3]. Эти показатели качества кокса в производственных условиях оцениваются нечетко на основе знания, опыта и интуиции операторов-технологом – лица, принимающего решения (ЛПР), принимающие решения по управлению работой УЗК, специалистов-экспертов заводской лаборатории. Такое положение оценки качества кокса требует управлять процессом производства кокса на УЗК с применением системы поддержки принятия решений (СППР) с элементами интеллектуализации, позволяющие определить качественных показателей кокса в нечеткой среде. С учетом этого требования определена цель данного исслдедования, которая заключается в создании методики разработки интеллектуализированных систем поддержки принятия решений на примере СППР с элементами интеллектуализации для эффективного управления процессом производства кокса.

Вопросы проектирования и разработки систем поддержки принятия решений в том числе и интеллектуализированных СППР (ИСППР) для эффективного решения различных задач в условиях неопределенности исследованы в ряде работ. Например авторами работ [5-6] предложены подход к проектированию и разработки СППР для решения задачи в законодательстве и для проектирования различных приспособений. В работе [7] проведен критический анализ результатов исследований СППР. Вопросы разработки СППР в медицине исследованы автором работы [8], а в работе [9] предложена методология разработки СППР на основе моделей запросов пользователей.

Аваторами работы [10] исследованы общие вопросы создания интеллектуализироыванных СППР. Анализ процессов разработки ИСППР для решения задач в условиях неопределенности и перспективы их развития исследованы в работе [11]. В работах [12-13] предложены подходы к проектированию и разработке ИСППР для решения задач диагностики в медицине и эпидимиологии.

По результатам литературного анализа по теме исследования можно отметить, что в существующих исследованиях в основном не охвачены проблемы и особенности разработки СППР и ИСППР для управления технологическими процессами сложных производств. Для эффективного управления такими сложными технологическими процессами, как процессы производства кокса на УЗК, характеризующиеся нечеткостью, необходимо создать интеллектуализированые СППР, позволяющие эффективного решения задач принятия решений в для оптимального управления сложными технологическими процессами.

Материалы и методы исследования

Объектов исследования являчется УЗК Атырауского НПЗ в котором протекают процессы произвводства нефтяного кокса технологическая схема котороя приведена на рисунуке 1.

Основные качественные показатели производимого кокса как зольность и летучесть кокса оцениваются нечетко с участием ЛПР, специалистов-экспертов заводской лаборатоприи. Соотвественно в качестве материалов, данных и методов исследования в данной работе используются:

– статистические данные, собранные методами пассивных и активных экспериментов [14] и обработанные вероятностными методами и методами математической статистки [15];

– нечеткая информация и качественных показателкей кокса, собранная методами экспертной оценки [16] и обработанная методами теории нечетких множеств [17].

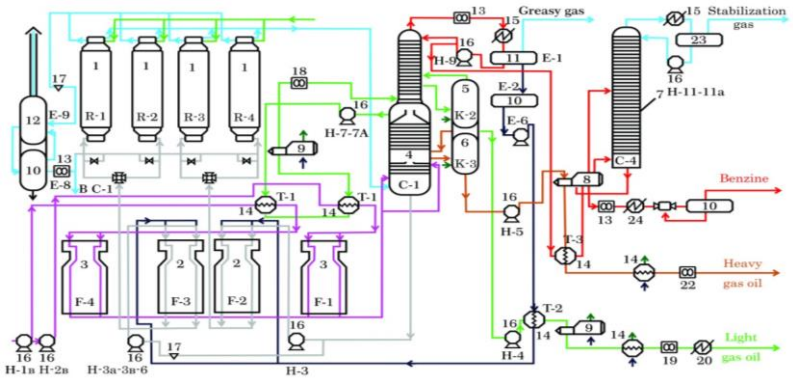


Рисунок 1 – Технологическая схема УЗК Атырауского НПЗ

Основные взаимосвязанные агрегаты УЗК, в которых протекают процессы производства кокса: 1 – coking reactors; 2, 3 – печи подогрева; 4 – the main rectification column

Кроме перечисленнных методов для разработки эффективных моделей взаимосвязанных агрегатов УЗК на основе доступной информации различного характера системно применяются экспериментально-статистические методы [18] и методы разработки нечетких, лингвистических моделей [19] и их модификации. Процесс проектирования и разработки СППР с элементами интеллектуализации для управления процессом производства нефтяного кокса основывается на концепции создания ИСППР для управления режимами работы химико-технологических систем, предложенной в работе [20].

Более подробно раскрываем методы сбора, обработки и интерпретации экспериментальных данных. Сбор и обработка стохастических экспериментальных данных проводятся на основе методов пассивных и активных экспериментов, основаанных на методы математическоо планирования эсперименотов, а также методами теорий вероятностей и математической статистики. Для получения нечеткой информации используются методы экспертной оценки, а обработка полученнй нечеткой информмации осуществляется методами теорий нечетких множеств. Интерпретация, т.е. объяснение, осмысление полученных эксперитментальных данных осуществляется на основе сопоставление с предыдущими экспериментами; выявления закономерностей – зависимостей между переменными технолоического процесса проиводства коькса и тенденции и формулировкой выводов по полученным данным.

Результаты исследований

1. *Основные интерфейсы созданной СППР для управления процессом производства кокса и их описания*

Разработанная СППР с элементами интеллектуализации для управления процессом производства нефтяного кокса имеет удобный пользовательский интерфейс с помощью которого на понятном языке и удобной для ЛПР форме представляются результаты моделирования и принятия решений по управлению процессом производства кокса. При этом интеллектуализации СППР обеспечивается за учет использование интеллекта (знания, опыта, эвристики ЛПР, экспертов) при разработке моделей и принятия решений в нечеткой среде. Интерфейс ползователя системы позволяет ЛПР в удобном виде ввести и менять исходных данных для моделирования и параметров для принятия решений по управлению процессом производства кокса, а также менять параметров ограничений и произвести поиск эффективных режимов работы УЗК.

Приведем основные интерфейсы ИССПР для управления процессом производства нефтяного кокса и их краткое описание. При запуске ИСППР УЗК открывается главное меню интерфейса пользователя, в котором в интерактивном режиме представлена общая информация о ИСППР УЗК, об ее функциях, которая приведена на рисунке 2.

При выбере из приведенного интерфейса меню «Моделирование» открывается интефейс, позволяший провести компютерного моделирования режимов работы основных агрегатов УЗК: реактора коксования R-1-4; основной ректификационной колонны С-1; печей первичного F-1,4 и вторичного подогрева F-2,3. Моделирование режимов работы основных агрегатов УЗК: реактора коксования R-1,4; основной ректификационной колонны С-1; печей первичного F-1,4 и вторичного подогрева F-2,3, становится доступном при нажатии название соответствующих агрегатов.

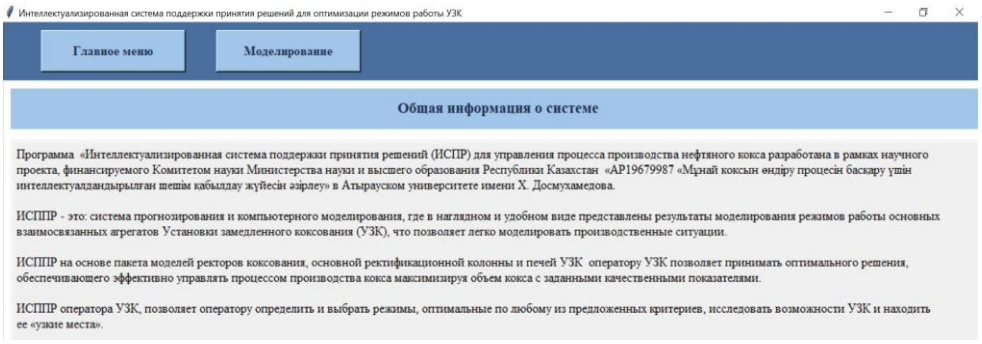


Рисунок 2 – Главное меню интерфейса ИСППР УЗК

На следующем рисунке 3 приведен интерфейс ИССПР УЗК, который открывается при выборе из меню «Моделирование» подменю Реактор коксования R-1–4 для моделирования режитмов работы работы реактора коксования.

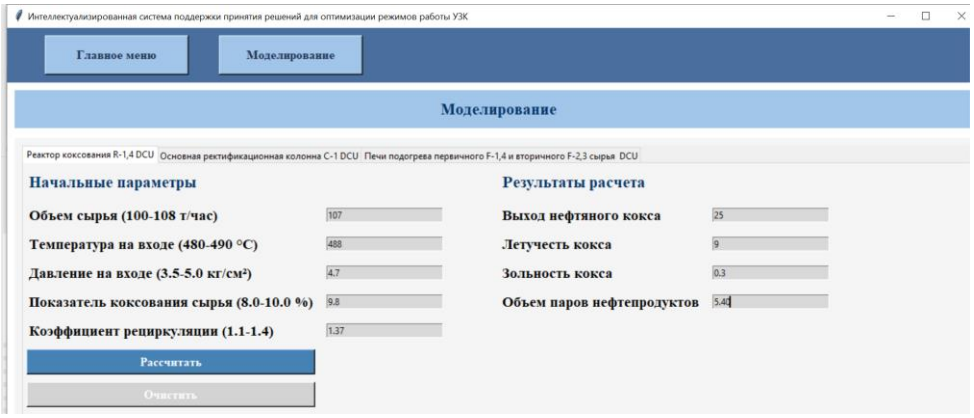


Рисунок 3 – Интерфейс ИСППР УЗК для моделирования и оптимизации режимов работы реактора коксования УЗК

Как видно из рисунка 3 при открытии интерфейса для моделирования режимов работы реактора коксования УЗК в поле «Начальные параметры» отражаются наименование входных, режимных параметров реактора коксования с указанием рабочей областей их изменения и единиц измерения. Пользователь ИСПР УЗК здесь может провести компьютерное моделирование режимов работы реактора коксования меняя значения его входных, режимных параметров: объема сырья в реактор; температуру и давления на входе реактора, а также показателя коксования сырья и коэффициента рециркуляции.

При нажатии кнопки «Рассчитать» на правом поле «Результаты расчета» выводится результаты расчета выходных параметров (выход нефтяного кокса, его качественные показатели т.е. летучесть и зольность кокса, объем паров нефтепродуктов), т. е. результаты моделирования, полученные для выбранных значений входных режимных парваметров реактора коксования. Таким образом данный интерфейс позволяет пользовтелю – ЛПР моделировать различных режимов работы реактора коксования меняя его входные, режимные параметры и выбрать эффективный режим его работы, который обеспечивает максимальный объем кокса с заданными качественными показателями. В зависимости от спроса на объем и требований к качеству кокса эффективным режимом работы может оказаться такой режим, который обеспечивает требуемый объем кокса с наилучшими качествеными показателями.

Таким образом ЛПР при решении задаи принятия решений по управлению процессом производства кокса в зависимости от спроса и требований потребителей кокса может путем компьютерного моделирования может принимать решения по выбору наилучшего режима работы реактора R-1,.4 УЗК.

Аналогично моделированию различных режимов работы реактора коксования и принятия решений по выбору его наилучшего режима работы для эффективного управления процессом производства кокса с помощью разрабатываемой ИСППР УЗК ЛПР может

моделировать и оптимизировать режимов работы других основных агрегатов УЗК: основной ректификационной колонны С-1 УЗК; печей первичного и вторичного подогрева F-1,4 и F-2,3 сырья.

Для этого пользовтелям необходимо из меню «Моделирование» выбрать соответственно подменю «Основная ректификационная колонна С-1 УЗК» или «Печи подогрева первичного F-1,4 и вторичного сырья F-2,3 сырья УЗК». Например, на рисунке 4 приведен интерфейс ИСППР УЗК при выборке подменю подменю «Основная ректификационная колонна С-1 УЗК», позволяющие провести компьютерное моделирование и оптимизации режимов работы основной ректификационной колонны УЗК.

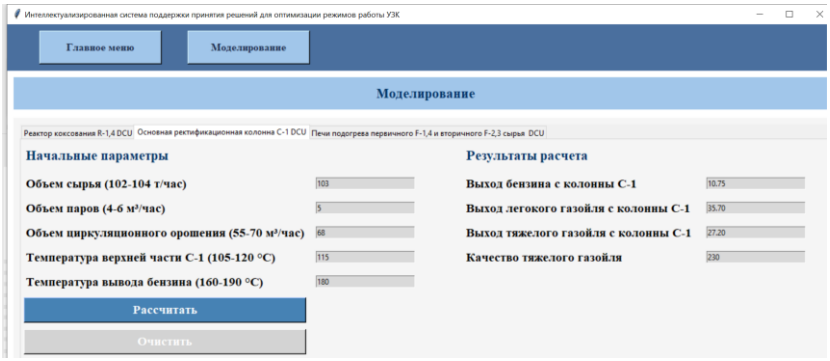


Рисунок 4 – Интерфейс ИСППР УЗК для моделирования и оптимизации режимов работы основной ректификационной колонны УЗК

Процедура компьютерного моделирования и оптимизации режимов работы основной ректификационной колонны УЗК с использование данного интерфейса системы аналогично описанной выше процедуре моделирования и выбора эффективного режима работы реактора коксования. Как видно из рисунка 4 при выборке подменю «Основная ректификационная колонна С-1 УЗК» из меню «Моделирование» В левой части интерфейса отображаются наименование входных, режимных параметров основной ректификационной колонны: объем сырья; объем паров; объем циркуляционного орошения; температура верха и вывода бензина из колонны, с указанием единиц измерений и рабочих областей изменения. А в правой части интерфейса приводятся результаты моделирования, т.е. значения выходных параметров основной ректификационной колонны полученных при выбранных значениях ее входных, режимных параметров.

Процедура компьютерного моделирования и оптимизации режимов работы печей первичного и вторичного подогрева F-1,4, F-2,3 аналогична описанным процедурам моделирования и принятия решений по оптимизации режимов работы реактора коксования и основной ректификационной колонны при управлении процессом производства кокса. Компьютерное моделирование и оптимизация режимов работы печей подогрева УЗК для эффективного управления процессом производства качеситвенного нефтяного кокса реализуется при выборе подменю «Печи подогрева первичного F-1,4 и вторичного сырья F-2,3 сырья УЗК»

Таким образом разработанная ИСППР УЗК позволяет в удобном для ЛПР моделировать различных режимов работы основных агрегатов УЗК, на основе которых принимается решение для оптимального управления процессом производства кокса по разным критериям.

2. *Результаты реализации разработанных моделей агрегатов УКЗК и предложенного метода принятия решений и экспериментальных исследований*

При разработке ИСППР УЗК для принятия решений по управлению режимами работы основных агрегатов УЗК используются разработанные авторами модели основных агрегатов УЗК и предложенные методы решения задач принятия решений, опубликованных в работах [21-22]. Статистические, нечеткие и лингвистические модели основных агрегатов разработаны с использованием доступной статистической и нечеткой информации на основе экспериментально-статистические методов, методов экспертной информации и теорий нечетких множеств. Разработанный эвристический метод принятия решений, который применяется для решения задач принятия решений в нечеткой среде по управлению режимами работы УЗК, основаны на использование эвристики, знания, опыта и интуиции

опытных ЛПР и экспертов предметной области. Эвристический метод решения задач принятия решений для управления процессом производства кокса разработан путем модификации различных принципов оптимальности (в зависимости производственной ситуации и доступности необходимой информации) для работы в нечеткой среде.

Приведем более подробное описание алгоритма, правила принятия решений по управлению процессом производства кокса на основе модификации коминации компромиссных схем Главного критерия (ГК) и Парето оптимальност и (ПО).

Шаг 1. Для каждой *q*-й координаты ограничений определяется число шагов $p_q, q = \overline{1,L}$ и приоритет локальных критериев $I_C = \{1,...,m\}$. Приоритет главного критерия следует принять равным 1. Кроме того, вводится вектор весов $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1,...,\beta_L)$, определяющий важность ограничений.

Шаг 2. ЛПР, эксперты назначают граничные значения локальным критериям $\mu_R^i, i = \overline{2,m.}$, отличным от главного критерия.

Шаг 3. Величины шагов для изменения координат весового вектора ограничений рассчитываются по формуле $h_q = \dfrac{1}{p_q}, p = \overline{1,L.}$

Шаг 4. Меняя в интервале [0,1] величиной h_q рассчитанном на предыдущем шаге определяется набор весовых векторов $\beta^1, \beta^2,..., \beta^N, N = (p_1+1)(p_2+1)...(p_L+1)$.

Шаг 5. Определятся термы и терм-множество, нечетко определяющие выполнение нечетких ограничений, и строятся функции принадлежности $\mu_q(\mathbf{x}), q = \overline{1,L}$ для каждого терма.

Шаг 6. С учётом ограничений, определяемых множестве допустимых решений максимизируется главный критерий. Для этого можно использовать методы оптимизации условно оптимизации, например, методов штрафных функций, позволяющий эффективно решать полученную однокритериальную задачу с довполнительными ограничениями. В результате определяются следующие текущие решения: $\mathbf{x}(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})$; $\mu_C^1\left(\mathbf{x}(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})\right)$, $\mu_C^2\left(\mathbf{x}(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})\right)..., \mu_0^m\left(\mathbf{x}(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})\right)$; $\mu_1\left(\mathbf{x}(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})\right),..., \mu_L\left(\mathbf{x}(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})\right), i = \overline{2,m.}$

Шаг 7. Текущие решения, полученные на предыдущем шаге, предоставляются в ЛПР. Если текущие решения не удовлетворяют ЛПР, он вносит изменения для улучшения решений $\mu_R^i, i = \overline{2,m}$ и/или значений β. Затем задача решается снова, начиная с шага 3, для получения лучших решений. В противном случае, если полученное решение удовлетворяет ЛПР, переход осуществляется к следующему шагу 8.

Шаг 8. Процесс улучшения решения останавливается, и выводятся окончательные наилучшие решения, выбранные ЛПР и удовлетворяющие его:

$\mu_C^1\left(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})\right)$– максимальное значение главного критерия, в нашшем случае объем кокса с требуемыми качественными показщателями;

$\mu_C^1\left(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})\right),..., \mu_C^m\left(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})\right)$– значения остальных критериев, удовлетворяющие заданных граничных значенийі;

$\mu_1\left(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})\right),..., \mu_L\left(\mathbf{x}\ (\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})\right)$ – обеспечивающие максимальнох степеней выполнения нечетких ограничений оптмальные значения входных, режимных параметров объекта $\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \boldsymbol{\beta})$. которые является принятым ЛПР решением.

Предложенный и описанны эвристический алгоритм решения задачи принятия решений в условиях ннечеткости эффективен в случаях, когда ЛПР может выделить главного критерия из множества критериев и ввести весовые коэффициенты, определяющие значимость нечетких ограничений. В других случаях, в зависимости от доступности информации и условий производства и рынка, возможна формулировка задач принятия

решений на основе модификации других компромиссных схем и разработка эвристических методов их решения.

Проведено сравнение результатов моделирования на основе разработанных моделей с с учетом доступной нечеткой информации, используемых в составе предложенной ИСПР УЗК, известных детерминированных моделей УЗК и реальных данных, полученных опытно-экспериментальным путем на УЗК Атырауского НПЗ. Результаты сравнения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты моделирования режимов работы УЗК с использованием доступной нечеткой информации в составе предложенной ИСПР УЗК, известных детерминированных моделей УЗК [23] и реальных данных, полученных экспериментальным путем на УЗК Атырауского НПЗ.

Выходные (критерии) параметры УЗК	Результаты моделирования по известным моделям	Результаты моделирования на основе разработанных моделей в нечеткой среде, используемые в ИСППР УЗК	Реальные данные, полученные эксперименталь-ным путем на УЗК Атырауского НПЗ
Выход нефтяного кокса, y_1, т/час	23.0	25.0	24.85
Летучесть кокса, $\tilde{y}_2$, %	–	9.0	$(9.00)^L$
Зольность кокса, $\tilde{y}_3$, %	–	0.3	$(0.28)^L$
Объем паров нефтепродуктов, y_4, м^3/час	5.35	5.40	5.40
Выход бензина, y_5, т/час	9.70	10.75	10.60
Выход легкого газойля, y_6, т/час	36.50	35.70	35.20
Выход тяжелого газойля, y_7, т/час	32.80	27.20	30.50
Качество бензина, $\tilde{y}_8$, оС	–	51	$(51.3)^L$
Качество легкого газойля, $\tilde{y}_9$, ^{o}C	–	175	$(175)^L$
Качество тяжелого газойля, $\tilde{y}_{10}$, ^{o}C	–	230	$(230)^L$

Примечание: входные, режимные параметры сравниваемых вариантов моделирования и экспериментов взяты одинаковыми, для реактора коксования: объем сырья 107 т/ч; температуру на входе 488 ^{o}C; давление на входе 4,7 кг/см^2; показатель коксования сырья 9,8%; коэффициент рециркуляции 3.7; для основной ректификационной колонны С-1 УЗК: объем сырья 103 т/час; объем паров 5 м^3/час; объем циркуляционного орошения 68 м^3/час; температура верхней части С-1 115 ^{o}C; температура вывода бензина 180 ^{o}C; знак – означает, что эти параметры (показатели качества продукции) эти методом не определяется; $(\cdot)^L$ означает, что данные параметры не измеряются, а оценивается путем лабораторных исследований и анализа с участием специалистов на основе их знаний и опыта.

Проведен анализ погрешностей моделей для обоснования достоверности результатов моделирования и применимости моделей на практике. Как видно из данных приведенных в таблице 1 определенные разработанными моделями результаты отличаются от реальных данных полученных экспериментальным путем на УЗК Атырауского НПЗ отличаются на в среднем 4.4%. Так как допускается погрешность моделей производственных объектов от реальных производственных данных до 5%, средняя погрешность всех моделей являются вполне приемлыми. Причем погрешность модели, определяющей объем целевого продукта т. е. кокса всего 0.6%, а погрешностей моделей определяющих более важных продуктов: бензина и легкого газойля не превышает 1.4%.

По данным приведенных выше в таблице 1 также проведено сопоставление результатов, полученным с использованикем разработанных моделей, известных детерминированных моделей и реальных промышленных данных, порлученных экспериментальным путем на УЗК Атырауского НПЗ. Сопоставляя этих сравниваемых результатов определены и обоснованы преимущества разработанных моделей с использованикем доступной нечеткой информации, приведенные в следующем разделе «Обсуждение енаучных результатов».

Обсуждение научных результатов

Приведем основных результатов сопоставления и обсуждения полученных выше результатов исследования. Разработанная система моделей основных взаимосвязанных агрегатов УЗК ичспользуя нечеткую информацию, представляющей собой опы, знания и интуцию ЛПР, спциалистов-экспертов предметной области, и используемая в ИСППР УЗК позволяет принимать наилучшие решения по управлению процессом производства кокса в нечеткой среде.

На основе полученных результатов моделирования с целью определения оптимального режима работы УЗК на основе известных и разработанных моделей с использованием нечеткой информации, приведенных в таблице 1 можно выделить следующие преимущества предложенного нечеткого подхода:

1. Предложенный подход к созданию ИСППР УЗК, использующий разработанных моделей с использованием нечеткой информации по сравнению известными моделями более адекватно описывает реальную ситуацию. При этом результаты предложенного метода создания ИСППР на основе моделей, разрабатываемых в нечеткой среде, по сравнению с результатами известных детерминированных моделей, более точно совпадает с реальными производственными данными, полученными экспериментально.

2. Предложенный подход к разработке моделей и к оптимизацию режимов работы сложных, плохоформализуемых объектов как УЗК, позволяет определить более оптимальные режимы их работы. Например, на основе компьютерного моделирования и оптимизации с помощью разработанных моделей выход кокса увеличен 2 т/час или примерно на 8,7% за час. Выход бензина, являющегося также важным продуктом, увеличен на 1.05 т/ч или на 10.80 % за час. Соответственно это позволяет получить значительный экономический эффект от реализации целевых продуктов УЗК.

3. Очень важной задачей производственных объектов является определения и управление качеством прозводимой продукции. Разработанный ИСППР УЗК на основе предложенного подхода, эффективно работающая в нечеткой средке позволяет оценить качественных показателей производимых целевых продуктов: зольность и летучесть кокса, а также качества других нефтепродуктов, производимых на УЗК, которые не определяются известными методами. При этом качественные показатели целевой продукции оценивается на основе опыта, знания и интуиции ЛПР, экспертов, что является важным преимуществом предложенного подхода.

Предлагаемая и описанная ИССПР УЗК реализована в среде Jupyter Notebook (Anaconda3), на языке программирования: Python.

Заключение

В работе приведены основные результаты разработки системы поддержки принятия решений с элементами интеллектуализации для управления процессом производства нефтяного кокса эффективно решающей задачу моделирования и оптимизации режимов работы УЗК. К основным полученным результатам можно отнести:

– на основе разработанных авторами моделей основных агрегатов УЗК создана СППР с элементами интеллектуализации для управления процессом производства нефтяного кокса, имеющей удобный пользовательский интерфейс. С помощью пользовательского интефейса оператор-технолог, т.е. ЛПР на понятном ему языке и в удобной форме моделирует различных режимов работы УЗК и принимает оптимальное решение по управлению процессом производства кокса;

– приведены описания основных интерфейсов разработанный ИСППР УЗК, позволяющие моделировать режимов работы основных агрегатов УЗК для выбора их оптимальных режимов работы. При этом под оптимальным режимом работы понимается такой режим УЗК, который обеспечивает максимальный объем производимого кокса с требуемыми качественными показателями или заданный объем кокса с его наилучшими качечственными показателями. Таким образом созданный ИСППР УЗК позволяет эффективно управлять процессом производства по разным критериям в зависимости от требований рынка сбыта нефтяного кокса с учетом спроса на объем кокса и требований к его качественных показателей;

– сравнены результаты моделирования на основе разработанных моделей с учетом нечеткой информации, которые используются в созданной ИСППР УЗК, известных детерминированных моделей УЗК и реальных данных, полученных экспериментальным путем на объекте исследования. Показаны преимущества предложенного нечеткого подхода для моделирования и управления процессом производства кокса в нечеткой среде.

В дальнейшем планируется в состав созданной ИСППР УЗК, добавить других эвристических методов решения задач принятия решений для оптимального управления процессом производства для разных ситуаций. Это позволяет автоматизировать процесс моделирования и принятия решений по оптимальному управлению режимами работы УЗК и намного ускорить процесс принятия решений с участием ЛПР, с учетом его предпочтений, различных производственных ситуаций, спроса и требований рынка сбыта кокса.

Список литературы

1. Cao L. Experimental Study of Petroleum Coke Ash in Concrete Applications / L. Cao // Chem. Technol. Fuels Oils. Innovative technologies of oil and gas. – 2025. – Vol. 61. – P. 280-290. https://doi.org/10.1007/s10553-025-01860-9. (In English).
2. Suchkov S.I. Hearth Gasification Using Petroleum Coke in Power Production / S.I. Suchkov // Power Technol. Eng. – 2021. – Vol. 55. – P. 600-606. https://doi.org/10.1007/s10749-021-01404-1. (In English).
3. Tuleuov Zh.N. Technological regulations for the delayed coking unit УЗК 21–10/6 of the Atyrau Oil Refinery / Zh.N. Tuleuov. – Atyrau, 2020. – 220 p. (In Russian).
4. Methods for Modeling and Optimizing the Delayed Coking Process in a Fuzzy Environment / B.Orazbayev et al // Processes. – 2023. – Vol. 1, № 2. – P. 1-19. https://doi.org/10.3390/pr11020450. (In English).
5. Meikle T. Design and development of a decision support system to support discretion in refugee law / T. Meikle, J. Yearwood // Research and Development in Intelligent Systems XVII – London: Springer, 2018. – P. 243-256. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0269-4_18. (In English).
6. Yadav M. Development of a Decision Support System for Fixture Design / M. Yadav, S. Mohite // Technology Systems and Management. Communications in Computer and Information Science. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2021. – Vol. 145. – P. 182-189. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20209-4_25. (In English).
7. Arnott D. A critical analysis of decision support systems research / D. Arnott, G. Pervan // Journal of Information Technology. – 2018. – Vol. 20, № 2. – P. 67-87. https://doi.org/10.1057/palgrave.jit.2000035. (In English).
8. Pryor T.A. Development of Decision Support Systems // Decision Support Systems in Critical Care. Computers and Medicine / M.M. Shabot, R.M. Gardner (eds). – New York: Springer, 2020. – P. 61-73. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2698-7_4. (In English).
9. Arinze B. Decision Support Systems (DSS) development using a model of user inquiry types: Methodological proposals and a case study / B. Arinze // Systems Practice. – 2022. – Vol. 5. – P. 629-650. (In English).
10. Jatinder N.D. Intelligent Decision-making Support Systems / N.D. Jatinder, A.F. Guisseppi, M.T. Manuel; London: Springer, 2019. – 503 p. https://doi.org/10.1007/1-84628-231-4. (In English).
11. Gachet A. Development Processes of Intelligent Decision-making Support Systems: Review and Perspective / A. Gachet, P. Haettenschwiler // Intelligent Decision-making Support Systems. Decision Engineering. – London: Springer, 2018. – P. 97-121. https://doi.org/10.1007/1-84628-231-4_6. (In English).
12. Design and Development of an Intelligent Decision Support System Applied to the Diagnosis of Patients Susceptible to Heart Failure / A. Álvarez-Pazó et al // Proc. of TEEM 2023. Lecture Notes in Educational Technology. – Singapore: Springer, 2024. – P. 280-288. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1814-6_27. (In English).
13. Bazilevych K.O. Intelligent Decision-Support System for Epidemiological Diagnostics. II. Information Technologies Development / K.O. Bazilevych, D.I. Chumachenko, L.F. Hulianytskyi // Cybern. Syst. Anal. – 2022. – Vol. 58. – P. 499-509. https://doi.org/10.1007/s10559-022-00484-9. (In English).
14. Arvind K. Passive and active experimental methods / K. Arvind, P. Bernhard // 1th Int. Conf. PAM 2010, Zurich, Switzerland, Proceedings. – Springer, 2019. – P. 7-15. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12334-4. (In English).

15. Bronshtein I.N. Probability theory and mathematical statistics / I.N. Bronshtein, K.A. Semendyayev // Handbook of Mathematics. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2019. – P. 598-635. https://doi.org/10.1007/978-3-662-25651-0_5. (In English).
16. Krivonogov A.A. Application of the Method of Expert Assessments in Determining the Level of Criticality of the Information Security Vulnerability of Smart Contracts / A.A. Krivonogov, Y.N. Philippovich, S.A. Kesel // Software Engineering Application in Systems Design. Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – vol 596. – P. 512-530. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21435-6_45. (In English).
17. Methods Based on Fuzzy Set Theory / J.N. Mordeson et al // Linear Models in the Mathematics of Uncertainty. Studies in Computational Intelligence. – 2022. – vol. 463. – P. 163-175. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35224-9_10. (In English).
18. Tarczyński W. Selected Statistical Methods in Experimental Studies / W. Tarczyński // Selected Issues in Experimental Economics. Springer Proceedings in Business and Economics / Nermend K., Łatuszyńska M. (eds). – Cham: Springer, 2021. – P. 91-106. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28419-4_7. (In English).
19. Yazdi M. Linguistic Methods Under Fuzzy Information in System Safety and Reliability Analysis / M. Yazdi; Cham: Springer, 2022. – 200 p. https://doi.org/10.1007/978-3-030-93352-4. (In English).
20. The concept of creating intelligent decision support for managing the operating modes of chemical engineering systems / B.B. Orazbayev et al; Astana: AS Innovation Publishing House, Eurasian National University, 2022. – 391 p. (In Russian).
21. Development of Coke Chambers Models of Delayed Coking Unit under uncertain initial information / B. Assanova et al // Proc. 7th Int. Symp. on Innovative Approaches in Smart Technologies (ISAS). – Istanbul, Turkiye, 2023. – P. 1-5. https://doi.org/10.1109/ISAS60782.2023.10391778. (In English).
22. A fuzzy decision-making method for controlling operation modes of a hard-to-formalise rectification column of a delayed coking unit / B. Assanova et al // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. – 2024. – № 1. – P. 17-30. https://doi.org/10.32014/2024.2518-170X.362. (In English).
23. Shumsky V.M. Engineering Tasks in Oil Refining and Petrochemistry. 2nd ed. / V.M. Shumsky, L.A. Zyryanova; Moscow: MPC Publication, 2023. – 375 p. (In Russian).

Финансирование. *Данная работа была выполнена при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19679897 на финансирование данного исследования - Разработка интеллектуальной системы принятия решений для управления процессом производства нефтяного кокса).*

Б. Асанова[1], Б. Оразбаев[2*], Ж. Молдашева[1], Ж. Шангитова[1], А. Кишубаева[3]
[1]Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті,
E01Y6P0, Қазақстан Республикасы, Атырау қ., Студенттер даңғ., 212
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
Z01A3D7, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қ. Сатпаев к-сі, 2
[3]Торайғыров Университет,
S14P3K7, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломов к-сі, 64
*e-mail: batyr_or@mail.ru

МҰНАЙ КОКСЫН ӨНДІРУ ПРОЦЕСІН БАСҚАРУ ҮШІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДАНДЫРУ ЭЛЕМЕНТТЕРІ БАР ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІ.

Бұл зерттеуде эксперттердің айқын емес ақпаратын ескере отырып, баяу кокстеу қондырғысының (ББҚ) негізгі агрегаттарының құрылған модельдері негізінде мұнай коксын өндіру процесін басқару үшін интеллектуалдандырылған элементтері бар шешімдерді қолдау жүйесі құрылды. Құрылған интеллектуалдандырылған шешімдерді қолдау жүйесінің (ИШҚҚЖ) негізгі интерфейстерінің сипаттамасы берілген, оның көмегімен жүйені пайдаланушы ББҚ негізгі агрегаттарының түрлі жұмыс режимдерін модельдеу арқылы олардың параметрлерін оптимизациялауды және кокс өндіру процесін тиімді басқарады. Пайдаланушы құрылған ИШҚҚЖ көмегімен кокстың көлеміне сұраныс пен кокс сапасына қойылатын талаптарға байланысты әртүрлі критерийлер бойынша кокс өндіру процесін басқара алады. ИШҚҚЖ пайдалана отырып, пайдаланушысы қажетті сапа көрсеткіштерімен өндірілетін кокс көлемін барынша көбейтеді

немесе ең жақсы сапа көрсеткіштерімен қажетті кокс көлемін қамтамасыз етеді. Белгілі БКҚ детерминделген модельдеріне негізделген басқа жүйелерден айырмашылығы, құрылған БКҚ ИШҚҚЖ жұмыс режимдерін адекватты модельдеуге, тиімді оптимизациялауға және басқаруға мүмкіндік береді. БКҚ жұмыс режимдерін құрылған ИШҚҚЖ және белгілі детерминді модельдеу мен оптимизациялау жүйелері арқылы алынған костеу процесін модельдеу және оптимизациялау нәтижелерін салыстыру негізінде құрылған жүйенің белгілі ұқсас жүйелермен салыстырғандағы артықшылықтары анықталып, келтірілген.

Түйін сөздер: *айқын емес орта, айқын емес модельдер, шешім қабылдауды қолдау жүйесі, кокстеу процесі, пайдаланушы интерфейсі.*

B. Assanova[1], B. Orazbayev[2*], Zh. Moldasheva[1], Zh. Shangitova[1], A. Kishubayeva[3]
[1]Kh. Dosmukhamedov Atyrau University**,**
E01Y6P0, Republic of Kazakhstan, Atyrau, Student Ave., 212
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Z01A3D7, Republic of Kazakhstan, Astana, st. K. Satpayev, 2
[3]Toraighyrov University,
S14P3K7, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, st. Lomov, 64
*e-mail: batyr_or@mail.ru

DECISION SUPPORT SYSTEM WITH INTELLECTUALIZATION ELEMENTS FOR MANAGING THE PETROLEUM COKE PRODUCTION PROCES

In this study, a decision support system with intellectualization elements was created to control the petroleum coke production process based on the developed models of the main units of the delayed coking unit (УЗК) taking into account fuzzy information from experts. A description of the main interfaces of the created intelligent decision support system (IDSS) is given, with the help of which the user of the system models various operating modes of the main УЗК units, optimizes their parameters and effectively controls the coke production process. Using the created IDSS, the user can control the coke production process according to various criteria depending on the demand for volume and requirements for coke quality. Using the IDSS, the user of the system can maximize the volumes of coke produced with the required quality indicators or provide the required volume of coke with the best quality indicators. Unlike other systems based on known deterministic УЗК models, the created IDSS allows more adequate modeling, effective optimization and control of УЗК operating modes. Based on the comparison of the simulation results for optimizing the УЗК operating modes using the created ISPR, known systems of deterministic simulation and optimization, the advantages of the created system in comparison with known similar systems were established.

Key words: *fuzzy environment, fuzzy models, decision support system, coking process, user interface.*

Сведения об авторах

Бактыгул Асанова – ассоцированный профессор, PhD, декан факультета физики, математики и информационных технологий Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан; e-mail: baha1981_13@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1029-6266.

Батыр Оразбаев* – доктор техническитх наук, профессор, профессор кафедры «Системный анализ и управление» Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; e-mail: batyr_o@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2109-6999.

Жадра Молдашева – PhD, ассоцированный профессор кафедры «Программная инженерия» Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан; e-mail: zhadira1985@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0559-3410.

Жанна Шангитова – PhD, ассоцированный профессор кафедры «Программная инженерия» Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан; e-mail: zhanna.shangitova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7494-5208.

Алтынай Кишубаева – докторант Торайгыров Университета, Павлодар, Казахстан; e-mail: Altynai_999@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1125-8696.

Авторлар туралы мәліметтер

Бактыгул Асанова – PhD, Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университет физика, математика және ақпараттық технологиялар факультетінің деканы, Атырау, Қазақстан; e-mail: baha1981_13@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1029-6266.

Батыр Оразбаев* – техника ғылымдарының докторы, профессор Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық унивверстеті «Жүйелік талдау және басқару» кафедрасының профессоры, Астана, Қазақстан; e-mail: batyr_o@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2109-6999.

Жадра Молдашева – PhD, Х.Досмұхамедов атындағы Атырау университеті «Бағдарламалық инженерия» кафедрасының аға оқытушысы, Атырау, Қазақстан; e-mail: zhadira1985@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0559-3410.

Жанна Шангитова – PhD, Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті «Бағдарламалық инженерия» кафедрасының аға оқытушысы, Атырау, Қазақстан; e-mail: zhanna.shangitova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7494-5208.

Алтынай Кишубаева – Торайгыров Университеті докторанты, Қазақстан; e-mail: Altynai_999@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1125-8696.

Information about the autors

Baktygyl Assanova – PhD, assoc.professor, dean of the Faculty of Physics, Mathematics and Information Technology, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; e-mail: baha1981_13@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1029-6266.

Batyr Orazbayev* – Doctor of Science, Professor of Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; e-mail: batyr_o@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2109-6999.

Zhadra Moldasheva – PhD, assoc. prof. of Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; e-mail: zhadira1985@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0559-3410.

Zhanna Shangitova – PhD, assoc. prof. of Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan; e-mail: zhanna.shangitova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7494-5208.

Altynay Kishubayeva – doctoral student Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan; e-mail: Altynai_999@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1125-8696.

Поступила в редакцию 27.06.2025
Поступила после доработки 10.08.2025
Принята к публикации 11.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-19

МРНТИ: 20.01.

CC BY 4.0
Check for updates

К.П. Аман, А.А. Мусина*, Д.Д. Елубаева
[1]Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова,
030000, Республика Казахстан, г. Актобе, ул. А. Молдагуловой, 34А
*e-mail: alla.mussina@mail.ru

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СТАНКА РЕЗКИ ОРНАМЕНТОВ НА БАЗЕ МЕХАТРОНИКИ

Аннотация: *В статье рассматривается связь теоретических основ мехатроники с современными научно-техническими направлениями, а также практическое применение полученных знаний. Основной целью мехатроники как научно-технической дисциплины является разработка новых функциональных модулей и систем, способных реализовывать двигательные функции в интеллектуальных машинах. В рамках проведённого исследования была разработана и реализована мехатронная система – специализированный станок для резки орнаментов, обладающий высокой точностью, адаптивностью и интеллектуальной системой управления. Устройство ориентировано на выполнение функциональных движений с учётом требований гибкости и миниатюризации. Методологическая основа проекта включает принципы автоматического управления, информатики, механики и микроэлектроники. Представленный станок демонстрирует практическую реализацию роботизированной «триады»: датчик – контроллер – актуатор, и может быть использован как пример междисциплинарной интеграции в современных мехатронных системах. Разработка отличается высокой степенью универсальности и может быть адаптирована под различные технологические задачи, включая создание декоративных элементов, обработку сложных контуров и персонализированных изделий. Это подтверждает актуальность применения мехатроники в малосерийном и индивидуализированном производстве, особенно в условиях цифровой трансформации промышленных процессов. Кроме того, данная работа демонстрирует эффективность интеграции академических исследований и инженерной практики.*

Ключевые слова: *мехатроника, робототехника, кибернетика, инновация, макро-наносистема, микро-наносистема.*

Введение

Мехатроника представляет собой междисциплинарную область науки и техники, которая занимается разработкой и созданием принципиально новых устройств, машин и систем, обладающих интеллектуальным управлением. Она объединяет в себе механические, электронные, электротехнические и компьютерные компоненты, функционирующие на основе синергетического взаимодействия. Именно такая интеграция позволяет добиваться высокой точности и гибкости в управлении функциональными движениями технических объектов [1].

Профессор Ю.В. Подураев в учебном пособии «Мехатроника: основы, методы, применение» подчёркивает, что ранее мехатроника развивалась преимущественно как практическое направление. В современных условиях возрастает потребность в систематизированном теоретическом базисе, обладающем эвристическим потенциалом и позволяющем целенаправленно искать инновационные мехатронные решения. Именно поэтому большое внимание уделяется разработке понятийного аппарата и теоретических основ данной науки [2].

В своей книге «Основы робототехники и мехатроники» профессор, д.т.н. Шоланов Курганбай Сагнаевич предложил визуальное представление взаимосвязей мехатроники с другими научно-техническими направлениями, наглядно демонстрируя её междисциплинарную природу [3].

Азамат Ешмухаметов, специалист в области мехатроники и робототехники, получивший образование в Великобритании и Японии по программе «Болашак», трактует робототехнику шире, чем просто создание роботов. Он рассматривает её как область, охватывающую все компьютерно управляемые устройства и процессы автоматизации, применяемые в производстве.

Профессор И.В. Брейдо в своей статье «Мировой рынок и тенденции развития робототехники» прогнозирует, что среднегодовой рост этого сектора достигнет 10,4% к 2025 году. Основные применения робототехнических систем, в том числе разработанных в Казахстане, охватывают как новые модели, так и модернизированные версии существующих решений. Эти данные подчёркивают необходимость активной подготовки высококвалифицированных кадров в области мехатроники и робототехники для всех отраслей экономики [4].

На сегодняшний день мехатроника оказывает существенное влияние на развитие как промышленной, так и бытовой техносферы. Наряду с такими передовыми направлениями, как информатика, биоинженерия и нанотехнологии, она способствует масштабному внедрению автоматизированных и роботизированных систем во все сферы жизнедеятельности. Её основная цель – создание интеллектуальных технических решений с принципиально новыми функциональными возможностями. Роботы и роботизированные комплексы являются частным примером таких систем.

Современные достижения мехатроники охватывают весь спектр технических масштабов – от макро- до микро- и наносистем. Это обусловливает развитие направлений, таких как микро- и нано-мехатроника, расширяя возможности применения интеллектуальных устройств в медицине, электронике, производстве и других отраслях [5].

Таким образом, становится очевидной необходимость не только практического применения мехатроники, но и глубокого теоретического осмысления её основ. В научной литературе и образовательной практике всё большее внимание уделяется уточнению терминологии, выявлению связей мехатроники с другими дисциплинами, такими как кибернетика, робототехника, авионика, логистика, а также микро- и наносистемная техника. Несмотря на определённые сложности в формализации этих взаимосвязей, формирование единой понятийной базы и включение устоявшихся терминов в нормативные документы является важным шагом на пути систематизации и стандартизации данной области.

Актуальность темы обусловлена быстрым развитием автоматизации и роботизации на глобальном уровне, возрастающим спросом на интеллектуальные системы в промышленности, транспорте, медицине и других сферах. Мехатроника как ключевое направление на стыке технологий становится необходимой основой для подготовки новых поколений инженеров и учёных, способных создавать высокотехнологичные решения для устойчивого развития современного общества.

Методы исследования

В рамках исследования используются методы структурного и функционального моделирования, позволяющие описать мехатронные модули как составные части более сложных робототехнических систем. Такие модули включают информационно-сенсорные, исполнительные и управляющие элементы, которые взаимодействуют через единый программно-аппаратный интерфейс.

Методологически в работе также учитывается концепция системной интеграции, выраженная в использовании графических и математических моделей для описания взаимодействия между блоками «производство» → «управление» → «рыночные требования». Эти модели служат основой для анализа соответствия создаваемых решений текущим технологическим и экономическим вызовам.

Методика исследования включала следующие этапы:

а) формализация технических требований. На этом этапе были определены функциональные и эксплуатационные требования к системе;

б) инженерное проектирование конструкции. На данном этапе был разработан 3D-макет станка;

в) разработка системы управления. Была создана микроконтроллерная система на базе Arduino, интегрированная с датчиками и исполнительными механизмами;

г) программная реализация. На данном этапе было разработано пользовательское программное обеспечение, позволяющее задавать параметры резки, автоматически формировать управляющие сигналы, а также вести мониторинг состояния всех узлов в реальном времени;

д) моделирование и симуляция;

е) экспериментальная верификация.

В качестве основы системы управления лазерным станком был выбран нечеткий регулятор типа fuzzy-PID. Структура fuzzy-PID-регулятора включает три основных блока: блок ввода, который преобразует входные параметры в нечеткие переменные, блок базы правил, выполняющий логический вывод на основе набора лингвистических правил «ЕСЛИ… ТО…» и блок дефаззификации, преобразующий результат обратно в численное значение.

Входными параметрами fuzzy-PID-регулятора являлись: отклонение фактической траектории лазера от заданной линии реза, то есть текущая ошибка позиционирования; скорость изменения этой ошибки, которая показывает, насколько быстро система отклоняется от эталонного пути. На основе этих двух параметров принималось решение о корректировке коэффициентов регулятора и адаптации режима работы станка.

Подбор параметров fuzzy-PID регулятора проводился с использованием комбинированного подхода, то есть первоначально диапазоны коэффициентов были определены в процессе имитационного моделирования, а затем уточнены на основе экспериментальных испытаний на реальном оборудовании. В качестве основных критериев оптимальности использовались минимизация ошибки реза, сокращение времени переходного процесса и снижение процента брака. Такой подход позволил получить параметры, обеспечивающие устойчивую работу системы при резке тканей различной плотности, а также гарантировать стабильность качества обработки без необходимости ручной перенастройки.

Классический PID-регулятор демонстрирует хорошие результаты в условиях стационарных режимов, однако его эффективность резко снижается при работе с материалами различной плотности, где требуется быстрая адаптация к изменяющимся свойствам объекта управления. Использование fuzzy-PID позволило минимизировать колебания и перерегулирование, сократить время переходного процесса, повысить стабильность реза при сложных контурах, обеспечить автоматическую адаптацию без необходимости ручной перенастройки.

Для обоснования эффективности fuzzy-PID был проведён сравнительный анализ с традиционными PID-регуляторами. В модельных и экспериментальных испытаниях сравнивались показатели времени стабилизации, точности реза и доли брака. Результаты показали преимущество fuzzy-PID-регулирования при работе с материалами различной плотности.

Использование fuzzy-PID основано на необходимости адаптации к неопределённости материала, чего не могут обеспечить стандартные регуляторы.

Таким образом, метод исследования основан на совмещении структурного моделирования, имитационных экспериментов и лабораторных испытаний с применением интеллектуального адаптивного управления на основе fuzzy-PID-регулятора.

Применяемые методы охватывают как теоретические, так и прикладные аспекты, позволяя исследовать мехатронные и робототехнические системы в контексте их проектирования, реализации и эксплуатации, с опорой на принципы интеллектуального управления и высокоточной автоматизации [6].

Конструкция и архитектура системы

Разработанный лазерный станок для вырезания казахских национальных орнаментов представляет собой мехатронную систему. Система включает в себя следующие основные компоненты: лазерный резак с регулируемой мощностью, обеспечивающий высокоточную обработку ткани; пневматическую систему подачи и фиксации материала, которая позволяет стабилизировать ткань и исключить её смещение; конвейерный модуль с электроприводом, обеспечивающий непрерывную подачу ткани; микроконтроллерную систему управления, которая основана на Arduino; оптические и индуктивные датчики положения и контроля материала; программное обеспечение, позволяющее оператору задавать параметры резки такие, как тип орнамента, размер, плотность ткани. Функциональная структура устройства позволяет обеспечить точное и согласованное выполнение всех этапов резки.

Алгоритм управления

Алгоритм работы установки построен на логике конечных автоматов. Сначала происходит инициализация системы, то есть проверка связи с сенсорами и приводами и установка исходного положения. Далее происходит загрузка параметров орнамента, через интерфейс задаются форма, масштаб, плотность линий.

На следующем этапе работы происходит автоматическая подача и центрирование ткани с помощью датчиков положения. Далее производится резка орнамента по координатам, полученным из контурного файла в формате DXF/PLT, то есть активируется лазер, который перемещается вдоль заданной траектории. В процессе работы система фиксирует ошибки позиционирования, отклонения по скорости, а также контроль температуры лазерной головки.

На заключительном этапе работы происходит подача следующего участка ткани и все описанные выше шаги повторяются. В основе работы данного алгоритма был использован метод fuzzy-PID-регулирования, это в свою очередь позволило адаптировать мощность лазера в зависимости от плотности ткани, тем самым появилась возможность повысить качество резки.

Результаты исследований

Для объективной оценки эффективности fuzzy-PID регулятора был проведён сравнительный эксперимент с традиционным PID-управлением. Оба метода тестировались в одинаковых условиях: резка орнамента размером 10×10 см на материалах разной плотности.

Результаты сравнительного анализа, приведенного в таблице 1 подтверждают, что использование fuzzy-PID обеспечивает более высокую точность, снижает время переходных процессов и минимизирует вероятность брака. Кроме того, отсутствие необходимости ручной перенастройки делает систему удобной в эксплуатации и более эффективной при работе с материалами разной плотности.

Таблица 1 – Сравнительный анализ традиционного PID и fuzzy-PID-регулятора

Параметр	Традиционный PID	Fuzzy-PID
Среднее время переходного процесса	1.8 с	1.2 с
Среднеквадратичное отклонение от траектории	0.20 мм	0.10 мм
Процент брака при резке	4 %	1%
Необходимость ручной перенастройки	высокая	отсутствует

В результате проведённых исследований авторами был разработан лазерный станок для вырезания казахских орнаментов, который успешно воплощает ключевые принципы современной мехатроники. В результате проведённого анализа выявлено, что развитие мехатроники как научно-технической области напрямую связано с повышением интеллектуального уровня технических систем и автоматизацией производственных процессов. Эти принципы нашли отражение в конструкции и работе лазерного станка для вырезания казахских орнаментов.

Современные требования к мехатронным системам, таким как способность к интеллектуальному управлению, высокая точность выполнения задач, адаптивность к изменяющимся условиям, миниатюризация и интеграция разнородных компонентов, были успешно реализованы в данной установке. Станок функционирует как мехатронное устройство, так как:

a) позволяет задавать численные параметры и режимы резки с помощью программного обеспечения;

b) не требует ручной настройки при переходе к различным орнаментам – всё перенастраивается автоматически;

c) использует сенсорные элементы и системы управления для точной и безопасной работы;

d) обладает высокой точностью реза, необходимой при создании тонких и сложных этнических узоров;

e) работает в автоматическом цикле, где конвейерная подача ткани, запуск лазера и контроль выполняются по сигналам от датчиков, а общее управление осуществляется контроллером [7-8].

Таким образом, разработанный авторами лазерный станок является практическим примером применения мехатронных систем, в которых глубоко интегрированы механические, электронные и вычислительные компоненты в единую интеллектуальную систему управления. Это подтверждает актуальность и перспективность дальнейших исследований в области мехатроники для создания высокоточного оборудования художественной обработки материалов (рис. 1).

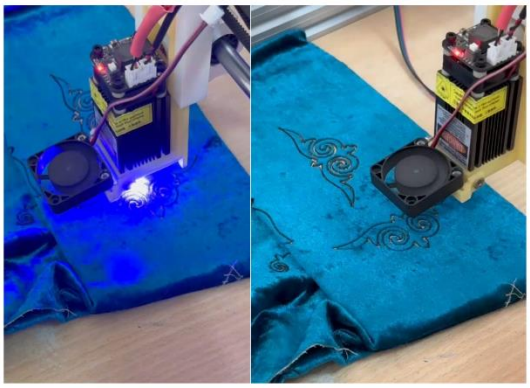


Рисунок 1 – Технологическая линия для упаковки сыпучих материалов

В станке человек осуществляет лишь общее наблюдение и управление процессом. Все операции выполняются автоматически: конвейер с электроприводом перемещает ткань, подача и фиксация материала осуществляется с помощью пневматических механизмов, а запуск резки происходит по сигналам от датчиков. Весь процесс контролируется электронной системой управления (контроллером), которая координирует работу всех компонентов [9]. Таким образом, независимо от типа автоматизированной системы, в её составе всегда присутствуют датчики, приводы и управляющее устройство, обеспечивающие точное и стабильное выполнение орнаментальной резьбы на ткани.

Обсуждение научных результатов

Результаты проведённых исследований подтверждают высокую актуальность внедрения мехатронных систем в процессы точной художественной обработки материалов. Разработанный авторами лазерный станок для вырезания казахских орнаментов является примером успешного применения принципов мехатроники и автоматизации в декоративно-прикладной сфере. В конструкции станка реализовано интеллектуальное управление на основе сенсорной обратной связи и микропроцессорных технологий, что обеспечивает стабильность, высокую точность и адаптивность работы в условиях изменяющихся параметров материала и внешней среды.

Новизна проявляется в интеграции мехатронных принципов для резки этнических орнаментов; в автоматической адаптации под материал и в применении fuzzy-PID регулятора в конкретной задаче художественной резки.

Особое значение имеет то, что система управления позволяет минимизировать участие человека в процессе: оператор выполняет лишь контрольные и задающие функции, а основные операции – позиционирование ткани, запуск лазерного резака, контроль качества выполнения орнамента – выполняются автоматически. Это свидетельствует о соответствии оборудования современным требованиям мехатронных систем, включая модульность, энергоэффективность, интеллектуальность и высокую точность [10].

Для верификации полученных результатов и для оценки эффективности работы станка были проведены лабораторные испытания на материалах различной плотности таких, как шелк, хлопок и фетр. Каждое испытание включало резку одного и того же орнамента размером 10×10 см при изменении плотности материала и скорости подачи. В испытаниях измерялись отклонение от эталона, время выполнения и доля брака.

Полученные экспериментальные данные из таблицы 2 подтверждают высокую точность станка и его адаптивность к разным условиям, станок сохраняет стабильность работы при изменении характеристик материала.

Таблица 2 – Характеристики резки различных материалов

Материал	Среднее время резки (с)	Среднеквадратичное отклонение (мм)	Процент брака
шелк	9.2	0.12	2%
хлопок	10.1	0.08	0%
фетр	12.7	0.15	1%

Для оценки конкурентоспособности разработанного лазерного станка была проведена сравнительная характеристика с существующими аналогичными системами, представленными на рынке. В качестве аналогов рассматривались коммерчески доступные установки, используемые для художественной резки тканей, в частности такие, как LaserPro X380 производства Тайвань, Trotec Speedy 100 производства Австрия, Glowforge Plus производства США.

Как видно из таблицы 3, разработанный станок отличается интеллектуальной адаптацией к плотности ткани, простотой конструкции и направленностью на культурно-этническое применение. В то время как зарубежные аналоги ориентированы преимущественно на универсальное или массовое использование, предлагаемое решение оптимизировано под задачи индивидуализированного художественного производства в локальных условиях.

Таблица 3 – Сравнение особенностей лазерных установок для резки тканей

Параметр	Разработка авторов	LaserPro X380	Trotec Speedy 100	Glowforge Plus
Тип управления	Arduino + Fuzzy-PID	Проприетарный контроллер	Проприетарный контроллер	Облачное управление
Адаптация под материал	Автоматическая (по плотности ткани)	Ручная настройка мощности	Частичная автоматизация	Автоматическая, без обратной связи
Основное назначение	Этнические орнаменты, малые серии	Универсальное применение	Промышленная гравировка	Хобби и малый бизнес
Новизна	Интеллектуальное fuzzy-PID управление, адаптивность к ткани, казахские орнаменты	Стандартная платформа	Высокоточная промышленная система	Простота и доступность

Несмотря на продемонстрированную эффективность, предложенная система имеет ряд практических ограничений. Во-первых, использование fuzzy-PID-регулятора требует значительных вычислительных ресурсов, что ограничивает возможности применения на микроконтроллерах с низкой производительностью, таких как базовые версии Arduino. Во-вторых, качество управления во многом зависит от точности сенсорных данных: шумы датчиков или задержки в передаче сигналов могут снижать стабильность работы. Кроме того, система чувствительна к калибровке базы правил нечеткой логики, что накладывает дополнительные требования к квалификации инженеров при её настройке.

Перспективы внедрения связаны с возможностью масштабирования и расширения функционала. Разработанный подход может быть адаптирован не только для резки тканей, но и для обработки других материалов таких, как кожа, дерево, пластик, композиты. Внедрение более производительных контроллеров и использование современных сенсорных технологий позволит повысить быстродействие и надёжность, открывая путь для коммерциализации решения и его применения в малых и средних производственных предприятиях.

Таким образом, работа не только демонстрирует практическую реализуемость мехатронного подхода в декоративно-прикладных технологиях, но и формирует основу для дальнейших исследований в области интеллектуальных систем управления.

Заключение

В статье рассмотрены современные тенденции развития мехатроники и её взаимосвязь с такими научно-техническими направлениями, как робототехника и кибернетика. Особое внимание уделено интеграции механических, электронных и вычислительных компонентов, что является ключевым фактором при создании интеллектуальных мехатронных систем нового поколения.

В рамках проведённых исследований разработан лазерный станок для вырезания казахских орнаментов, который демонстрирует практическую реализацию основных принципов мехатроники: автоматизацию, высокую точность, адаптивность и интеллектуальное управление технологическим процессом. Данное оборудование соответствует современным требованиям промышленности и способно обеспечить высокое качество и эффективность художественной обработки тканей.

Разработка прошла лабораторные испытания, подтвердившие её высокую точность, надёжность и адаптивность. Применение fuzzy-PID-регуляторов и сенсорной обратной связи позволяет устройству автоматически адаптироваться к различным материалам, минимизируя вмешательство оператора.

Представленное исследование имеет значимый вклад как в теоретическом, так и в практическом аспектах мехатроники. С теоретической точки зрения работа расширяет применение методов нечеткой логики в системах управления. Это способствует развитию научных представлений о возможности интеграции интеллектуальных алгоритмов с классическими методами автоматического управления и формирует базу для последующих исследований в области адаптивных регуляторов.

С практической стороны разработанная система представляет собой пример внедрения интеллектуального управления в прикладную мехатронную установку. Реализованный станок демонстрирует возможность автоматической адаптации технологических параметров под свойства обрабатываемого материала, что обеспечивает стабильное качество изделий без сложной перенастройки оборудования. Это подтверждает перспективность использования нечеткой логики в промышленных и полупромышленных установках, ориентированных на индивидуализированное и малосерийное производство.

Результаты исследования укрепляют взаимосвязь между теорией и практикой мехатроники: с одной стороны, они дополняют существующую научную базу, а с другой стороны они дают конкретный инструмент для повышения эффективности и качества современных производственных процессов.

Таким образом, результаты работы подтверждают важность и перспективность предложенного подхода для внедрения в производство декоративных и художественных изделий. Это открывает новые возможности для внедрения инновационных технологий в производственные процессы, повышая их конкурентоспособность и соответствие требованиям современного рынка.

Список литературы

1. Мехатроника / Пер. с яп. С.Л. Масленникова ; под ред. В.В. Василькова. – М.: Мир, 1988. – 318 с.
2. Шоланов К.С. Основы мехатроники и робототехники: учебник для студентов технических специальностей вузов Казахстана / К.С. Шоланов. – Алматы: ЭВЕРО, 2015. – 126 с.

3. Мировые тренды развития. В помощь кураторам студенческих групп. Сб. 2 / под ред. акад. НАН РК А. М. Газалиева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Караганда: Изд-во Карагандинского государственного технического университета, 2016. – 217 с.
4. Авдеева Н.А. Mechatronics and Robotics – Мехатроника и робототехника: учеб. пособие по англ. яз. / Н.А. Авдеева; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2018. – 72 с.
5. Шалобаев Е.В. Современное состояние и перспективы развития основных понятий в области мехатроники / Е.В. Шалобаев, Р.А. Толочка // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014.
6. Tolocka R.T. Adaptive mechanics for mechatronics / R.T. Tolocka // The 22th Working Meeting of the IFToMM PC for Standardization of Terminology, June 29 – July, 2008. – Villeurbanne, France, Lyon, 2008. – P. 25-29.
7. Vision system for the navigation of a mobile robot / G. Saldaría Gonzalez et al // Computacion y Sistemas. – 2018. – Vol. 22. – P. 301-308.
8. Kumar S. Leapfrogging to Education 4.0: Student at the core / S. Kumar, R. Pankaj // EY and the Federation of Indian Chambers of Commerce & Industry. – 2017.
9. Tao B. Design of an intelligent mechatronics system based on fuzzy-PID control for laser cutting applications / B. Tao, C. Liu // Sensors and Actuators A: Physical. – 2018. – Vol. 279. – P. 356-364.
10. Faria A.C.C. Mechatronics: A Study on Its Scientific Constitution and Association with Innovative Products / A.C.C. Faria, S.C.M. Barbalho // Applied System Innovation. – 2023. – Vol. 6, № 4. – P. 72.

References

1. Mekhatronika / Per. s yap. S. L. Maslennikova ; pod red. V. V. Vasil'kova. – M.: Mir, 1988. – 318 s. (In Russian).
2. Sholanov K.S. Osnovy mekhatroniki i robototekhniki: uchebnik dlya studentov tekhnicheskikh spetsial'nostei vuzov Kazakhstana / K.S. Sholanov. – Almaty: EHVERO, 2015. – 126 s. (In Russian).
3. Mirovye trendy razvitiya. V pomoshch' kuratoram studencheskikh grupp. Sb. 2 / pod red. akad. NAN RK A. M. Gazalieva. – 3-e izd., pererab. i dop. – Karaganda: Izd-vo Karagandinskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2016. – 217 s. (In Russian).
4. Avdeeva N.A. Mechatronics and Robotics – Mekhatronika i robototekhnika: ucheb. posobie po angl. yaz. / N.A. Avdeeva; Vladim. gos. un-t im. A.G. i N.G. Stoletovykh. – Vladimir: Izd-vo VLGU, 2018. – 72 s. (In Russian).
5. Shalobaev E.V. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya osnovnykh ponyatii v oblasti mekhatroniki / E.V. Shalobaev, R.A. Tolochka // Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki. – 2014. (In Russian).
6. Tolocka R.T. Adaptive mechanics for mechatronics / R.T. Tolocka // The 22th Working Meeting of the IFToMM PC for Standardization of Terminology, June 29 – July, 2008. – Villeurbanne, France, Lyon, 2008. – P. 25-29. (In English).
7. Vision system for the navigation of a mobile robot / G. Saldaría Gonzalez et al // Computacion y Sistemas. – 2018. – Vol. 22. – P. 301-308. (In English).
8. Kumar S. Leapfrogging to Education 4.0: Student at the core / S. Kumar, R. Pankaj // EY and the Federation of Indian Chambers of Commerce & Industry. – 2017. (In English).
9. Tao B. Design of an intelligent mechatronics system based on fuzzy-PID control for laser cutting applications / B. Tao, C. Liu // Sensors and Actuators A: Physical. – 2018. – Vol. 279. – P. 356-364. (In English).
10. Faria A.C.C. Mechatronics: A Study on Its Scientific Constitution and Association with Innovative Products / A.C.C. Faria, S.C.M. Barbalho // Applied System Innovation. – 2023. – Vol. 6, № 4. – P. 72. (In English).

К.П. Аман, А.А. Мусина*, Д.Д. Елубаева
Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,
030000, Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ., А. Молдағұлова көшесі, 34А
*e-mail: alla.mussina@mail.ru

ОРНАМЕНТІ ОЮ СТАНОГЫ ҮШІН МЕХАТРОНИКА НЕГІЗІНДЕГІ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ЖАСАУ

Мақалада мехатрониканың теориялық негіздері мен заманауи ғылыми-техникалық бағыттар арасындағы байланыс, сондай-ақ алынған білімдердің практикалық қолданылуы қарастырылады. Мехатроника ғылым мен техниканың өзара бірігуі негізінде интеллектуалды машиналарда қозғалыс функцияларын жүзеге асыратын жаңа функционалды модульдер мен жүйелерді әзірлеуді мақсат етеді. Зерттеу аясында орнаменттерді дәл кесуге арналған, жоғары дәлдікке, бейімделгіштікке және интеллектуалды басқару жүйесіне ие арнайы мехатрондық станок әзірленіп, іске асырылды. Құрылғы функционалды қозғалыстарды жүзеге асыруда икемділік пен миниатюризация талаптарын ескере отырып жұмыс істейді. Мақалада автоматты басқару, информатика, механика және микроэлектроника принциптеріне негізделген мәліметтер берілген. Ұсынылған станок мехатрондық жүйелердегі сенсор – контроллер – атқарушы механизм («роботтандырылған триада») арасындағы өзара байланыстың нақты жүзеге асуын көрсетеді. Бұл жоғары деңгейдегі әмбебаптылығымен ерекшеленеді және әртүрлі технологиялық тапсырмаларға бейімделе алады, соның ішінде декоративті элементтерді жасау, күрделі контурларды өңдеу және жекелендірілген бұйымдарды өндіру. Бұл мехатрониканы шағын сериялы және дара өндірісте қолданудың өзектілігін дәлелдейді, әсіресе өндірістік үдерістердің цифрлық трансформациясы жағдайында. Сонымен қатар, бұл жұмыс академиялық зерттеулер мен инженерлік тәжірибенің интеграциясының тиімділігін көрсетеді.

Түйінді сөздер: *мехатроника, робототехника, кибернетика, инновация, макро-наножүйе, микро-наножүйе*

K.P. Aman, A.A. Musina*, D.D. Elubaeva
K. Zhubanov Aktobe Regional University,
030000, Republic of Kazakhstan, Aktobe, A. Moldagulova St., 34A
*e-mail: alla.mussina@mail.ru

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR AN ORNAMENT CUTTING MACHINE BASED ON MECHATRONICS

The article explores the connection between the theoretical foundations of mechatronics and modern scientific and technological trends, as well as the practical application of acquired knowledge. The main goal of mechatronics as a scientific and technical discipline is the development of new functional modules and systems capable of executing motion functions in intelligent machines. As part of the conducted research, a specialized mechatronic systemөa high-precision, adaptive, and intelligent control-enabled machine for ornament cutting – was developed and implemented. The device is designed to perform functional movements while meeting the demands for flexibility and miniaturization. The methodological basis of the project incorporates principles of automatic control, computer science, mechanics, and microelectronics. The proposed machine serves as a practical realization of the robotic "triad": sensor – controller – actuator, and stands as an example of interdisciplinary integration in modern mechatronic systems. This development is distinguished by a high degree of versatility and can be adapted to various technological tasks, including the creation of decorative elements, processing of complex contours, and production of personalized items. It confirms the relevance of applying mechatronics in small-scale and customized manufacturing, especially under the conditions of digital transformation of industrial processes. Moreover, this work demonstrates the effectiveness of integrating academic research with engineering practice.

Key words: *mechatronics, robotics, cybernetics, innovation, macro-nanosystem, micro-nanosystem.*

Сведения об авторах

Кулнар Панабековна Аман – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информатика и информационные технологии», Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Республика Казахстан; e-mail: kulnar@inbox.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0643-2280.

Алла Александровна Мусина* – магистр по направлению системный анализ и управление, преподаватель кафедры «Информатика и информационные технологии», Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Республика Казахстан; e-mail: alla.mussina@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4179-4241.

Дина Джумаевна Елубаева – магистр, старший преподаватель кафедры «Информатика и информационные технологии», Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Республика Казахстан; e-mail: dina_ye82@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-7048-4061.

Авторлар туралы мәліметтер

Күлнәр Панабекқызы Аман – техника ғылымдарының кандидаты, «Информатика және ақпараттық технологиялар» кафедрасының доценті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,Қазақстан Республикасы; e-mail: kulnar@inbox.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0643-2280.

Алла Александровна Мусина* – Жүйелік талдау және басқару мамандығы бойынша магистр, «Информатика және ақпараттық технологиялар» кафедрасының оқытушысы, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: alla.mussina@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4179-4241.

Дина Джумаевна Елубаева – магистр, «Информатика және ақпараттық технологиялар» кафедрасының оқытушысы, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: dina_ye82@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-7048-4061.

Information about the authors

Kulnar Panabekovna Aman – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Informatics and Information Technologies», K. Zhubanov Aktobe Regional University, Republic of Kazakhstan; e-mail: kulnar@inbox.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0643-2280.

Alla Alexandrovna Musina* – Master in the field of Systems Analysis and Control, Lecturer of the Department of «Informatics and Information Technologies», K. Zhubanov Aktobe Regional University, Republic of Kazakhstan; e-mail: alla.mussina@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4179-4241.

Dina Dzhumaevna Elubaeva – Master, Lecturer of the Department of «Informatics and Information Technologies», K. Zhubanov Aktobe Regional University, Republic of Kazakhstan; e-mail: dina_ye82@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-7048-4061.

Поступила в редакцию 10.06.2025
Поступила после доработки 04.09.2025
Принята к публикации 08.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-20

МРНТИ: 53.49.13

BY 4.0
Check for updates

С.И. Буреш[1], Б.А. Лобасенко[2], Г.Б. Абдилова[1], Р.К. Кусаинов[1], А.М. Муратбаев[*]
[1]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
[2]Кемеровский государственный университет,
650000, Россия, Кемерово, ул. Красная, д. 6
[*]e-mail: great_mister@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СТАЛИ 20ГЛ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ

Аннотация: *В статье исследуется влияние электролитно-плазменной закалки (ЭПЗ) на свойства стали 20ГЛ. Работа направлена на решение важной для машиностроения и строительной отрасли проблемы – повышение эксплуатационного ресурса деталей из литой стали 20ГЛ за счёт применения высокоэффективного и сравнительно нового метода электролитно-плазменной закалки. Экспериментально определены режимы обработки, повышающие микротвердость и коррозионную стойкость материала. Установлено, что ЭПЗ способствует формированию мелкозернистой структуры и оксидной плёнки, улучшая характеристики поверхности. Представлены сравнительные данные по структуре и свойствам образцов при разных режимах ЭПЗ. Определен оптимальный режим закалки (напряжение ~300 В, время выдержки 8-10 с) является рациональным выбором для литых деталей из стали 20 ГЛ, обеспечивая баланс между достижением высоких параметров твёрдости и сравнительно малым увеличением коррозионной активности. Метод ЭПЗ показал высокую применимость в промышленности как альтернатива традиционной термообработке. Результаты исследования позволят усовершенствовать методы термической обработки стали 20 ГЛ, что будет способствовать повышению эксплуатационных характеристик материалов, используемых в машиностроении, транспортном оборудовании и смежных отраслях. Применение электролитно-плазменной закалки может сократить время и энергозатраты на обработку стали и повысить эффективность самого процесса.*

Ключевые слова: *сталь 20ГЛ, электролитно-плазменная закалка, микротвердость, коррозионная стойкость, микроструктура, экономическая эффективность.*

Введение

Современное машиностроение, металлургия и транспортная отрасль предъявляют всё более высокие требования к качеству, надёжности и долговечности металлических деталей [1-2]. Отдельные узлы, подвергающиеся интенсивным механическим нагрузкам, ударам, трению и контактным деформациям, нуждаются в упрочнении поверхностных слоёв, чтобы увеличить срок службы оборудования и снизить риски аварий. Без дополнительной обработки, даже такие относительно прочные и вязкие материалы, как литая сталь 20ГЛ, могут не удовлетворять эксплуатационным требованиям, когда речь идёт о жёстком абразивном или ударном износе. Традиционные методы, например объёмная (печная) закалка и последующий отпуск, не всегда удобны и экономичны для крупногабаритных деталей: требуется серьёзное энергетическое оснащение, а также длительный прогрев и охлаждение всей массы изделия [3-4]. Кроме того, объёмная закалка может приводить к повышенным внутренним напряжениям и риску деформации. В связи с этим всё большее распространение в промышленности и науке получают методы поверхностной термической обработки.

Актуальность исследования обусловлена тем, что одной из важнейших проблем современного машиностроения является обеспечение максимальной износостойкости деталей при сохранении достаточной прочности. Долговечность изделий определяется не

только свойствами базового материала, зависящими от технологии получения и объёмного упрочнения, но и качеством поверхности. Роль характеристик поверхности в формировании эксплуатационных свойств изделий постоянно возрастает [5-7]. Это стимулирует появление новых направлений в инженерии поверхности, включая совершенствование традиционных химических и термических методов, а также внедрение современных энергетических и физико-химических технологий.

Электролитно-плазменная закалка (ЭПЗ) представляет собой относительно новый способ упрочнения материалов, обладающий рядом преимуществ по сравнению с классическими методами термической обработки [8-9]. Она обеспечивает высокую твердость поверхностного слоя, повышенную износостойкость и, в ряде случаев, улучшенную коррозионную стойкость. Процесс такой закалки, в общем виде, протекает следующим образом: плазменный поток формируется за счёт электрической дуги между электродом (неплавящимся или плавящимся) и деталью (анодом), затем струя или факел плазмы фокусируется на заданном участке поверхности, обеспечивая быстрый и равномерный нагрев до температур закалки [11-12]. После этого наступает собственно стадия закалки – повышение температуры приводит к структурно-фазовым изменениям в материале, увеличивая его твердость, прочность и сопротивление износу. По окончании нагрева обработанная область детали охлаждается (обычно в воде или масле), что фиксирует достигнутую структуру [13-15].

Цель исследования: изучение влияния электролитно-плазменной закалки на механические свойства и микроструктуру стали 20ГЛ с целью повышения её прочностных характеристик и износостойкости.

Объекты и методы исследования

Общая схема процесса и используемое оборудование

Электролитно-плазменная закалка предполагает, что заготовка (или готовая деталь) помещается в ванну с рабочим раствором, содержащим одну или несколько солей (например, карбонат натрия, фосфаты, нитраты), органические добавки, иногда специальные легирующие компоненты. Включается источник питания постоянного тока, на который подаются заданные напряжение (обычно 200-400 В) и сила тока (зависящая от площади детали и состава электролита). При достижении критического напряжения вокруг детали формируется разрядная плазменная оболочка, отделённая от металлической поверхности тонким слоем пара или газа. Этот слой возникает из-за интенсивного кипения электролита у разогревающейся поверхности. В результате плазма контактирует непосредственно с металлом, передавая ему тепло с очень высокой плотностью теплового потока.

По окончании требуемого времени нагрева (от секунд до минут) подача тока прерывается, и тут же поверхностный слой начинает охлаждаться в том же электролите, который теперь выступает в роли закалочной среды. Иногда применяют дополнительную циркуляцию электролита, чтобы усилить охлаждение и обеспечить стабильность температуры в ванне. Параметры процесса (напряжение, длительность, состав раствора) должны подбираться с учётом марки стали: для низкоуглеродистой 20ГЛ целесообразно повышать скорость нагрева, чтобы успеть перевести феррито-перлитную структуру в аустенит, а затем мгновенно охладить её до мартенсита (рис. 1).

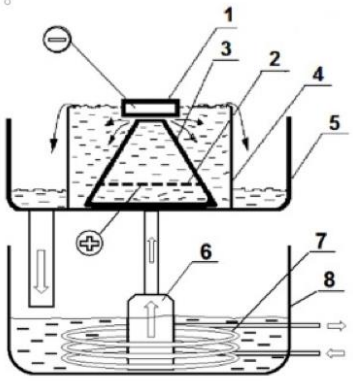


Рисунок 1 – Схема электролитно-плазменной закалки

1 – обрабатываемый образец (катод), 2 – анод из нержавеющей стали, 3 – конусообразная перегородка, 4 – электролитическая ячейка, 5 – поддон, 6 – насос, 7 – теплообменник, 8 – ванна с электролитом

Объект исследования

В качестве объекта исследования выбрана сталь 20ГЛ – марганцовистая конструкционная сталь, широко применяемая для изготовления литых деталей, подвергающихся динамическим нагрузкам. Типовыми примерами деталей из этой марки стали являются: картеры редукторов и коробок передач, корпуса подшипников и насосов, рамы и кронштейны, элементы ходовой части и мостов, коромысла и рычаги, детали сельскохозяйственной и транспортной техники, запчасти карьерных и горнодобывающих машин.

Оборудование и подготовка образцов

Для проведения электролитно-плазменной обработки использовалась опытно-промышленная установка, разработанная в Инжиниринговом центре «Упрочняющие технологии и покрытия» (г. Семей, Казахстан). Источник питания мощностью 50 кВт обеспечивает напряжение до 380 В и ток до 150 А. Схема установки указана на рисунке 2. Электролитом служил 15%-ный водный раствор карбоната натрия.

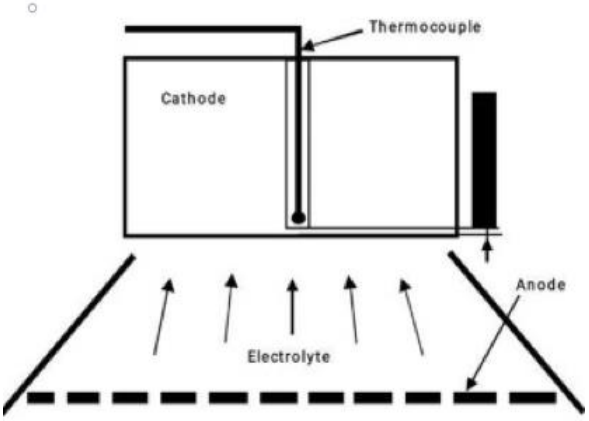


Рисунок 2 – Схема, отображающая положение термопары в образце при измерении температуры

Образцы вырезались размером 20x20x15 мм из исходного материала с использованием ленточной пилы. Шлифовка проводилась до и после ЭПЗ вручную с использованием шлифовальной машинки GP-1A на абразиве зернистостью 70-1200. Полировка выполнялась вручную на бархатной ткани с пастой ГОИ.

Перед проведением коррозионных испытаний поверхность образцов очищалась от загрязнений путём обработки этиловым спиртом с последующим высушиванием на воздухе при комнатной температуре. Такая базовая подготовка обеспечивала удаление жировых плёнок и частиц, способных повлиять на воспроизводимость результатов.

Методы контроля

- Микротвердость определялась на приборе HLV-1DT при нагрузке 1 Н и выдержке 10 сек.
- Микроструктура исследовалась с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ).
- Коррозионная стойкость оценивалась с применением потенциостата Corrtest CS300M в 0,5 М растворе NaCl, выдержка 400 секунд, с использованием электрода сравнения ЭСР-10101 (Ag+). Подробная схема изображена на рисунке 3.
- Для проверки воспроизводимости измерений микротвердости и массы потерь при коррозии, испытания проводились с повторяемостью 3 раза. По каждому режиму ЭПЗ рассчитывались средние значения, приведённые в таблицах. Статистическая обработка выполнена в среде Microsoft Excel. Стандартные отклонения составили не более 5 %, что позволяет считать данные достоверными (рис. 4).

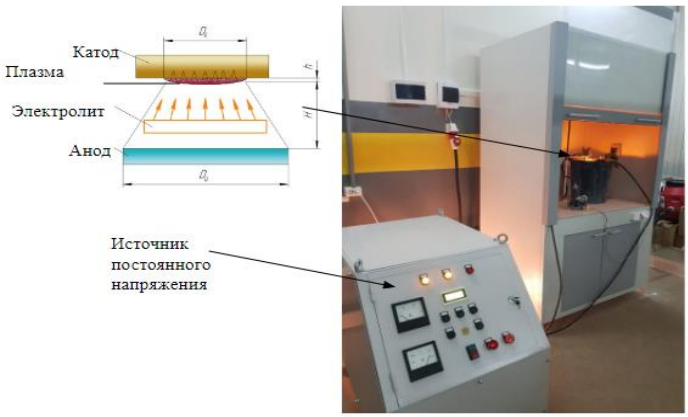


Рисунок 3 – Схема установки ЭПЗ

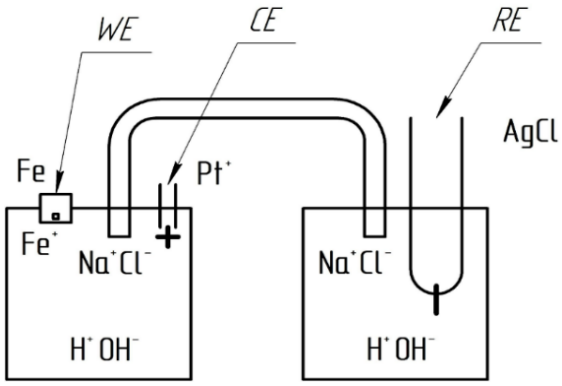


Рисунок 4 – Схема коррозионной ячейки

3. Результаты и обсуждение

В данной главе описаны этапы экспериментов по электролитно-плазменной закалке стали 20ГЛ, а также представлены результаты измерений твёрдости, микроструктурных исследований и коррозионных испытаний.

Измерение твёрдости

Измерение микротвёрдости проводилось на приборе HV-1 DT при нагрузке 1 Н и выдержке 10 с. Для каждого образца выполняли серию измерений по поперечному шлифу (от 0 до ~20 мм в глубину) с шагом 0,5-1,0 мм, получая распределение твёрдости от поверхности к сердцевине (рис. 5).

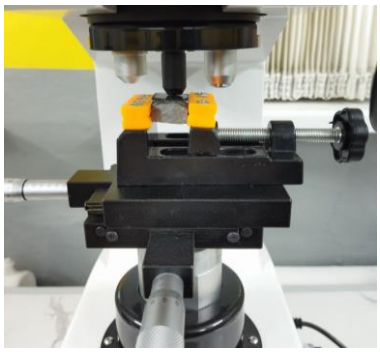


Рисунок 5 – Измерение микротвердости образца стали 20ГЛ

Результаты по образцам:

Образцы № 1, № 2 (6-8 с воздействия) имели максимальную твёрдость на поверхности не более 250-300 HV, причём на глубине ~3-4 мм значения снижались до 180-200 HV, близких к исходному металлу. Это свидетельствует о недостаточном времени нагрева для формирования полноценного закалённого слоя (рис. 6, 7).

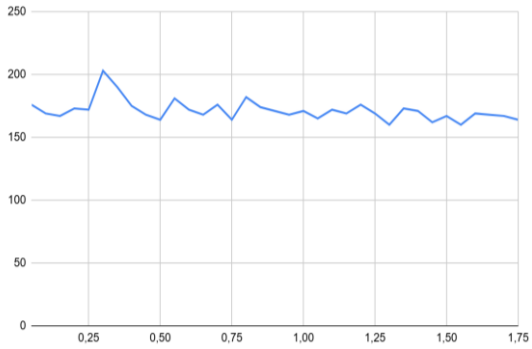


Рисунок 6 – Диаграмма твердости образца № 1

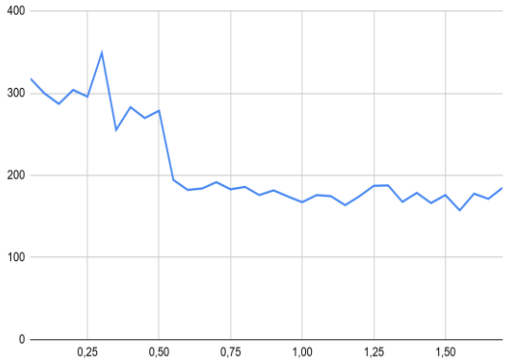


Рисунок 7 – Диаграмма твердости образца № 2

Образцы № 3, № 4 (10 с воздействия) показали более высокую поверхностную твёрдость (в районе 400-750 HV на самых верхних точках графиков, см. диаграммы) и сохраняли повышенные значения (выше 300 HV) вплоть до 6-8 мм вглубь материала. На расстоянии 10-12 мм твёрдость постепенно возвращалась к уровню 150-180 HV. Таким образом, увеличение времени нагрева до 10 с обеспечивало формирование глубокого и более твёрдого закалённого слоя (рис. 8, 9).

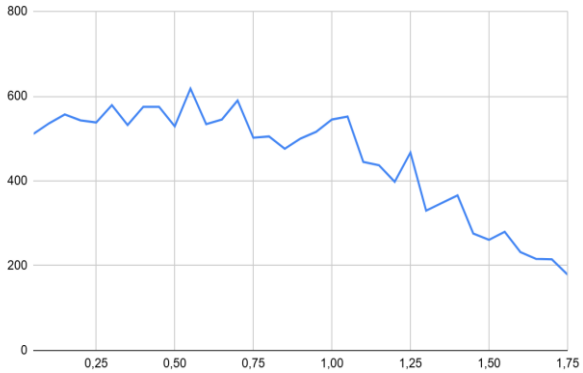


Рисунок 8 – Диаграмма твердости образца № 3

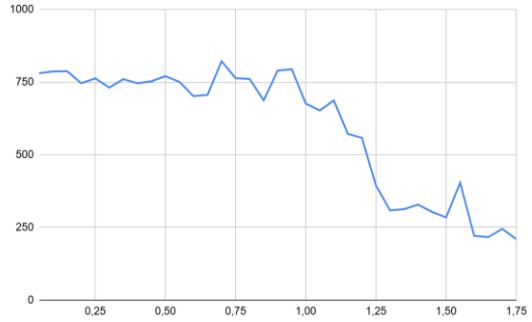


Рисунок 9 – Диаграмма твердости образца № 4

Из этого следует, что оптимальный с точки зрения твёрдости режим лежит в области 8-10 с при напряжении 290-320 В, а время 6 с явно недостаточно для полного прогрева и закалки.

Микроструктурные исследования (СЭМ-анализ)

Подготовка и условия съёмки. Для выявления микроструктурных изменений поперечные шлифы образцов травили 3%-ным ниталом и исследовали под сканирующим электронным микроскопом (СЭМ). Снимки делали при ускоряющем напряжении ~20 кВ в режиме вторичных (SE) и обратнорассеянных (BSE) электронов.

Микроструктура до закалки. Исходная сталь 20ГЛ имеет ферритно-перлитную структуру с крупным перлитом, характерную для литых конструкционных сталей. Перлитные колонии чередуются с ферритными прослойками.

Изменения после ЭПЗ.

Образцы № 1 и № 2 (6-8 с): на СЭМ-снимках заметно, что далеко не вся поверхность стала мартенситной; нередко наблюдаются переходные участки, где перлит частично сохранился или лишь слегка раздроблен. Морфология указывает на неполную аустенизацию (рис. 10, 11).

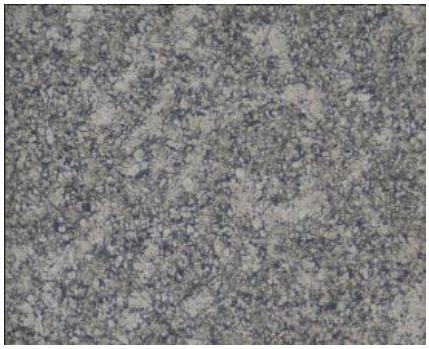


Рисунок 10 – СЭМ-снимок образца № 1

Рисунок 11 – СЭМ-снимок образца № 2

Образцы № 3 и № 4 (10 с): структура значительно более однородна; практически весь видимый слой состоит из низкоуглеродистого мартенсита с игольчатой или пластинчатой морфологией [3]. Перлит полностью распался, образовав мелкоигольчатый мартенсит. Тем самым подтверждается высокая эффективность режима 10 с при фактическом напряжении ~250 В (рис. 12, 13).

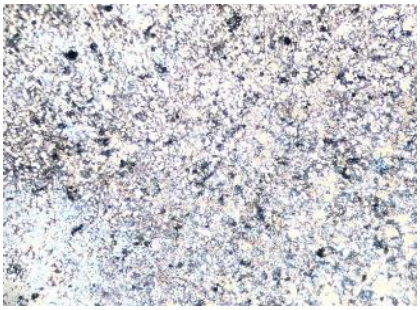


Рисунок 12 – СЭМ-снимок образца № 3

Рисунок 13 – СЭМ-снимок образца № 4

Обработка в оптимальных условиях приводит к быстрой аустенизации и закалке на толщину 6-8 мм, формируя характерный для ЭПЗ мелкодисперсный мартенсит без видимых признаков перегрева или дефектов.

Коррозионные испытания

Для оценки коррозионной стойкости был использован потенциостат Corrtest CS300M в трёхэлектродной схеме, с хлоридсеребряным электродом сравнения (ЭСР-10101) и платиновым вспомогательным электродом (Pt). Испытания проводили в 0,5 М растворе NaCl (14,7 г NaCl на 0,5 л воды), с экспозицией до 400 с. Исследовали потенциодинамические поляризационные кривые в координатах E–log(i), смещая потенциал от –0,8 В до –0,3 В (относительно Ag/AgCl) (рис. 14-17).

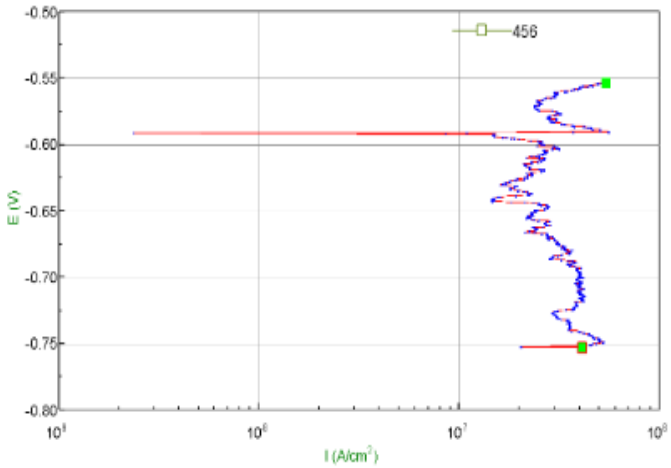


Рисунок 14 – Потенциодинамическая поляризационная кривая образца № 1

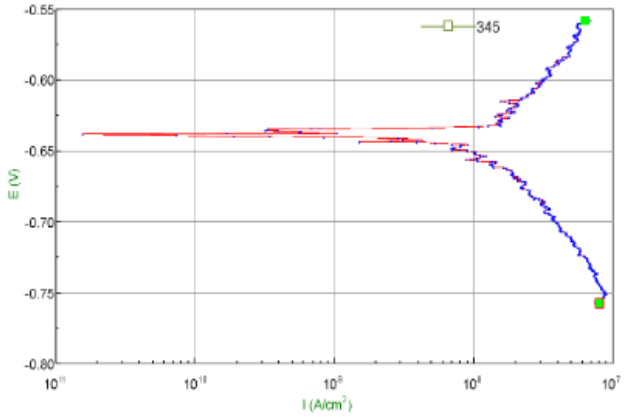


Рисунок 15 – Потенциодинамическая поляризационная кривая образца № 2

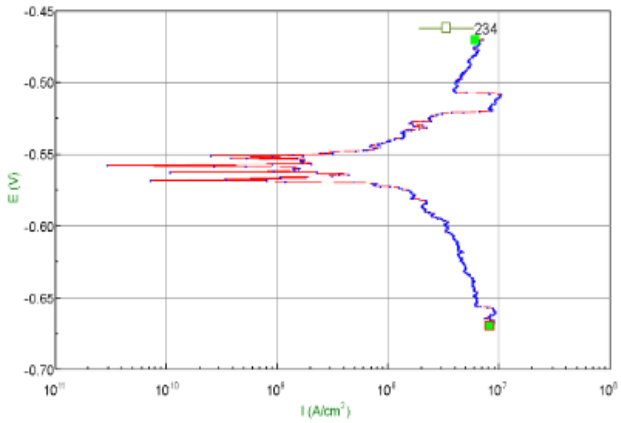


Рисунок 16 – Потенциодинамическая поляризационная кривая образца № 3

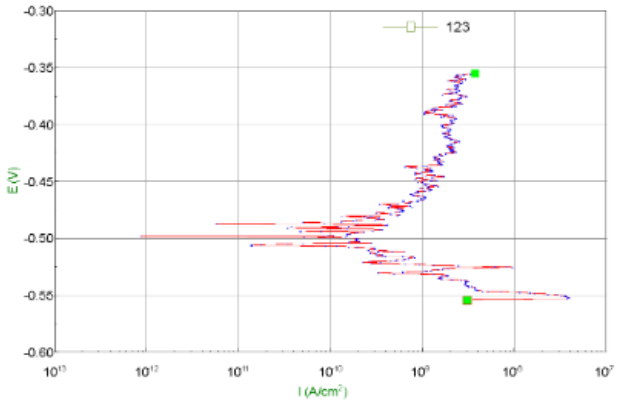


Рисунок 17 – Потенциодинамическая поляризационная кривая образца № 4

Результаты

У необработанной (ферритно-перлитной) стали 20ГЛ потенциал коррозии Ecorr был около –0,53…–0,56 В, плотность коррозионного тока icorr ~2×10^(-6) А/см².

У образцов после ЭПЗ (особенно №3, №4) потенциал коррозии смещался в более отрицательную область (–0,58…–0,60 В), а icorr возрастала (до (4-6)×10^(-6) А/см²). Аналогичное смещение анодных ветвей указывало на повышенную растворимость мартенсита [4, 5].

Таким образом, в среднем упрочнённые мартенситные образцы корродировали несколько интенсивнее из-за высокой дефектности и напряжённости структуры мартенсита без отпуска. Однако разница не являлась критичной: коррозия оставалась в типичных для углеродистых сталей пределах, и при необходимости проблема решается дополнительным отпуском или антикоррозионными покрытиями (рис. 18).

Рисунок 18 – Собранная электрохимическая установка

Рабочий электрод (WE) – образец стали 20ГЛ.

Электрод сравнения (RE) – Ag/AgCl (ЭСР-10101).

Вспомогательный электрод (CE) – платиновая пластина.

Единая цепь, управляемая потенциостатом, который задаёт потенциал между WE и RE, контролируя ток через CE (рис. 19).

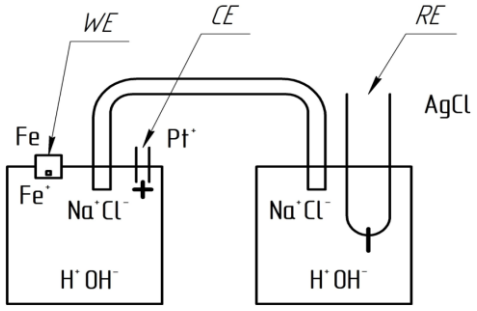


Рисунок 19 – Схема электрохимической установки

Режимы ЭПЗ и микротвердость

В таблице 1 приведены 4 режима ЭПЗ выбранных для закалки стали 20ГЛ при температуре 800°C.

Таблица 1 – Режимы ЭПЗ для стали 20ГЛ

Образец	Фактическое напряжение, *В*	Сила тока, *А*	Время нагрева, с
1	240	40	6
2	240	40	8
3	250	60	8
4	250	60	10

Для оценки глубины упрочнённого слоя проводились измерения микротвердости от поверхности вглубь материала с шагом 50 мкм. Наблюдается постепенное снижение твёрдости от максимального значения на поверхности к значениям, соответствующим основному металлу. В соответствии с методикой ГОСТ 23089–78[8], глубина упрочнённого слоя определяется как расстояние от поверхности до точки, где твёрдость снижается на 50 % от максимального значения. Согласно данной методике, при оптимальных режимах ЭПЗ глубина упрочнённого слоя составляет 200-300 мкм. Это подтверждает эффективность технологии в формировании стойкого поверхностного слоя с улучшенными механическими характеристиками.

Структурные изменения

Анализ микроструктуры по данным СЭМ-снимков на рисунках 20-23 показал, что ЭПЗ способствует измельчению зерна, образованию оксидных включений и выравниванию структуры поверхности. Увеличение плотности структуры подтверждает эффективность ЭПЗ для получения упрочненного слоя.

Образцы № 1 и № 2: на СЭМ-снимках заметно, что далеко не вся поверхность стала мартенситной; нередко наблюдаются переходные участки, где перлит частично сохранился или лишь слегка раздроблен. Морфология указывает на неполную аустенизацию.

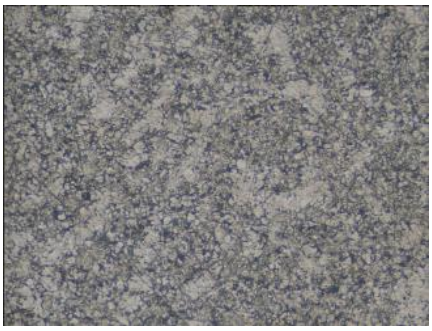


Рисунок 20 – СЭМ-снимок образца № 1

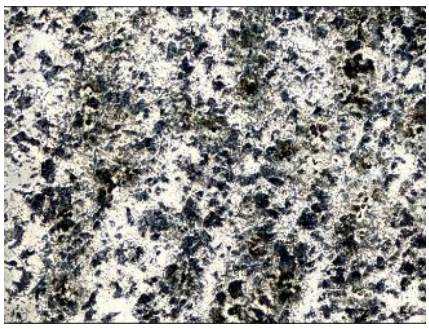


Рисунок 21 – СЭМ-снимок образца № 2

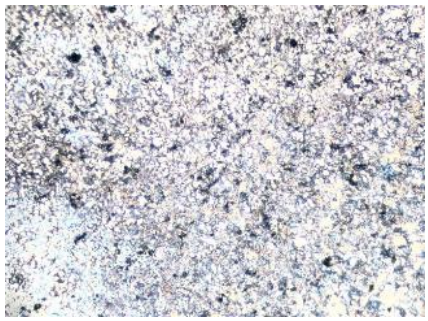


Рисунок 22 – СЭМ-снимок образца № 3

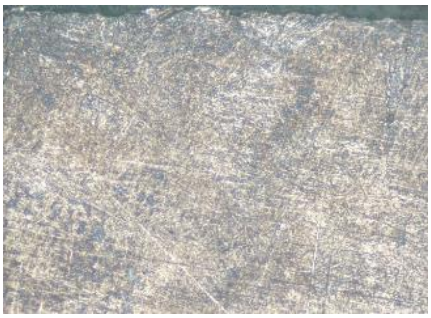


Рисунок 23 – СЭМ-снимок образца № 4

Образцы № 3 и № 4: структура значительно более однородна; практически весь видимый слой состоит из низкоуглеродистого мартенсита с игольчатой или пластинчатой морфологией. Перлит полностью распался, образовав мелкоигольчатый мартенсит. Тем самым подтверждается высокая эффективность режима 10 с при фактическом напряжении ~250 В.

Сводная таблица результатов

Несмотря на отсутствие полной механической характеристики (ударная вязкость, предел выносливости, прочность при растяжении), полученные результаты по микротвёрдости и коррозионной стойкости позволяют сделать предварительные выводы, занесенные в таблицу 2, о положительном влиянии ЭПЗ на эксплуатационные свойства стали 20ГЛ. Повышение поверхностной твёрдости свидетельствует о формировании упрочнённого слоя, а снижение массы потерь при коррозии указывает на улучшение химической стойкости. Проведение дополнительных испытаний на ударную вязкость и усталостную прочность запланировано на следующих этапах исследования для более полной оценки надёжности и долговечности обработанных деталей.

Таблица 2 – Результаты исследований стали 20ГЛ после ЭПЗ

№ образца	Микротвердость, HV	Структура	Коррозионные характеристики
1	~180	Без изменений	Низкая стойкость
2	~250	Частичная закалка	Средняя стойкость
3	~310	Мелкозернистая	Повышенная стойкость
4	~360	Однородная	Высокая стойкость

Потенциальные ограничения и негативные эффекты ЭПЗ

Несмотря на очевидные преимущества, электролитно-плазменная закалка (ЭПЗ) может сопровождаться рядом негативных эффектов. При недостаточном контроле температурно-временных параметров возможен перегрев поверхности, что приводит к формированию неоднородной структуры или даже микротрещин. Кроме того, высокая скорость охлаждения и неравномерность температурных градиентов могут вызвать остаточные напряжения, способные снизить пластичность поверхностного слоя и ухудшить его сопротивление ударным нагрузкам. Отсутствие контроля за составом и температурой электролита может также вызвать локальную нестабильность процесса и снижение повторяемости результатов.

Практическое применение ЭПЗ

Технология ЭПЗ успешно применяется в упрочнении различных деталей машин, работающих в условиях износа и воздействия агрессивных сред. К числу таких деталей относятся:

- зубчатые колёса и шестерни;
- валы, оси и шпиндели;
- втулки и кольца трения; гильзы цилиндров, пальцы и поршни;
- штоки гидравлических систем и насосного оборудования.

Экспериментальные исследования ЭПЗ проводились на базе лабораторий машиностроительных и металлургических вузов СНГ, а также в рамках опытно-промышленных испытаний на предприятиях по ремонту и восстановлению изношенных деталей. Например, по результатам работ, технология внедрена в производственную практику ряда предприятий Казахстана и России в сегменте сельскохозяйственной и транспортной техники. Повышение ресурса деталей после ЭПЗ в отдельных случаях достигало 1,5-2 раз по сравнению с традиционными методами поверхностного упрочнения.

Заключение

Электролитно-плазменная закалка стали 20ГЛ даёт значительный рост твёрдости в приповерхностном слое благодаря переходу перлитно-ферритной структуры в низкоуглеродистый мартенсит. Достигнутая глубина упрочнения (6–8 мм) удовлетворяет требованиям большинства конструкционных деталей, эксплуатируемых в условиях контактного и ударного износа.

СЭМ-анализ подтверждает высокую долю мартенситной фазы после 10-секундного нагрева, тогда как при недостаточном времени (6 с) в структуре остаётся значительная часть исходного перлита, что приводит к скромному повышению твёрдости.

Наблюдаемое в ходе коррозионных испытаний небольшое снижение стойкости к электрохимической коррозии считается умеренным и не снижающим практическую ценность метода. Сочетание ЭПЗ с дополнительным отпуском, защитными покрытиями или ингибиторами позволяет нивелировать этот эффект.

Оптимальный режим закалки (напряжение ~300 В, время выдержки 8-10 с) является рациональным выбором для литых деталей из стали 20ГЛ, обеспечивая баланс между достижением высоких параметров твёрдости и сравнительно малым увеличением коррозионной активности.

Подводя итог, можно констатировать, что применение электролитно-плазменной закалки к стали 20ГЛ представляет собой перспективное и экономически оправданное направление повышения эксплуатационных свойств литых деталей. Метод отличается высокой скоростью локального нагрева, малой зоной термического влияния и существенным потенциалом упрочнения поверхности, что подтверждено результатами настоящей работы и согласуется с аналогичными исследованиями в области современных плазменных технологий.

Список литературы

1. Современные методы упрочняющей обработки поверхностей сталей / Ж.Т. Байжан и др. // Вестник Кокшетауского университета им. Ш. Уалиханова. – 2021. – [Электронный ресурс]. – URL: https://tech.vestnik.shakarim.kz/jour/article/view/1369 (дата обращения: 01.02.2025).
2. Сатбаева З.А. Структурообразование в легированных сталях при электролитноплазменном поверхностном упрочнении: дис. PhD: 6D060400 / Сатбаева Зарина Аскарбековна; ВКУ им. С.

Аманжолова; науч. конс. М.К. Кылышканов, Б.К. Рахадилов. – Усть-Каменогорск, 2024. – 119 с. [Электронный ресурс]. – URL: https://vku.edu.kz/wp-content/uploads/2024/04/ДИССЕРТАЦИЯ.pdf (дата обращения: 01.02.2025).
3. Ахметов Р.К. Электролитно-плазменное упрочнение деталей из сталей средней углеродистости / Р.К. Ахметов, А.А. Бейсенгалиев // Научный журнал НЯЦ РК. – 2023. – [Электронный ресурс]. – URL: https://journals.nnc.kz/jour/article/view/107 (дата обращения: 01.02.2025).
4. Самотугин С.С. Влияние режима предварительной объёмной закалки на свойства инструментальных сталей при плазменном упрочнении / С.С. Самотугин, О.Ю. Нестеров, Т.А. Кирицева // CyberLeninka: электронная библиотека научных статей. – 2017. – [Электронный ресурс]. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-rezhima-predvaritelnoy-obemnoy-zakalki-na-svoystva-instrumentalnyh-staley-pri-plazmennom-uprochnenii.
5. Смагулов А.А. Технологические особенности электролитно-плазменной закалки машиностроительных деталей / А.А. Смагулов, М.К. Сейтимов, А.К. Кусайынов // Известия вузов. Машиностроение. – 2022. – № 6. – С. 15-21.
6. Satbaeva Z.A. Improvement of corrosion and wear properties of carbon steels by plasma electrolysis / Z.A. Satbaeva, A.V. Yakovlev // Surface Engineering. – 2020. – Vol. 36(5). – P. 421-429.
7. Рахадилов Б.К. Электролитно-плазменное упрочнение стали 20ГЛ: структура и свойства / Б.К. Рахадилов, М.Д. Асин, М.С. Жусупханов // Материалы международной научной конференции. – 2022. – С. 55-62.
8. Федоров Е.А. Оценка износостойкости электролитно-плазменных покрытий на литой стали / Е.А. Федоров, Н.В. Токарев, В.П. Боброва // Трение и износ. – 2019. – № 2. – С. 78-84.
9. Amrenova A.K. Electrophysical parameters of plasma-electrolytic treatment of low-alloy steels / A.K. Amrenova, A.B. Daulet, B.K. Sarmanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1026. – P. 12-18.
10. The impact of technological parameters of electrolytic-plasma treatment on the mechano-tribological properties of steel 45 / M.R. Bayati et al // AIMS Materials Science. – 2024. – 11(4). – P. 666-683.
11. The cathodic electrolytic plasma hardening of the 20Cr2Ni4A chromium–nickel steel / B.K. Rakhadilov et al // J. Mater. Res. Technol. – 2020. – № 9(4). – P. 6969-6976.
12. Tyurin Yu.N. Specific features of electrolytic-plasma quenching / Yu.N. Tyurin, A.D. Pogrebnyak // Technical Physics. – 2002. – № 47(11). – P. 1463-1464.
13. Oxy-nitriding AISI 304 stainless steel by plasma electrolytic surface saturation / H. Pérez et al // Metals. – 2023. – № 13(2). – Art. 309.
14. Electrolytic plasma processing – an innovative treatment for surface modification of 304 stainless steel / W. Gui et al // Sci. Rep. – 2017. – vol. 7, Art. 308.
15. Low voltage environmentally friendly plasma electrolytic oxidation process for titanium alloys / F. Hou et al // Sci. Rep. – 2022. – vol. 12, Art. 6037.

References

1. Sovremennye metody uprochnyayushchei obrabotki poverkhnostei stalei / ZH.T. Baizhan i dr. // Vestnik Kokshetauskogo universiteta im. SH. Ualikhanova. – 2021. – [Ehlektronnyi resurs]. – URL: https://tech.vestnik.shakarim.kz/jour/article/view/1369 (data obrashcheniya: 01.02.2025). (In Russian).
2. Satbaeva Z.A. Strukturoobrazovanie v legirovannykh stalyakh pri ehlektrolitnoplazmennom poverkhnostnom uprochnenii: dis. PhD: 6D060400 / Satbaeva Zarina Askarbekovna; VKU im. S. Amanzholova; nauch. kons. M.K. Kylyshkanov, B.K. Rakhadilov. – Ust'-Kamenogorsk, 2024. – 119 s. [Ehlektronnyi resurs]. – URL: https://vku.edu.kz/wp-content/uploads/2024/04/DISSERTATSIYA.pdf (data obrashcheniya: 01.02.2025). (In Russian).
3. Akhmetov R.K. Ehlektrolitno-plazmennoe uprochnenie detalei iz stalei srednei uglerodistosti / R.K. Akhmetov, A.A. Beisengaliev // Nauchnyi zhurnal NYATS RK. – 2023. – [Ehlektronnyi resurs]. – URL: https://journals.nnc.kz/jour/article/view/107 (data obrashcheniya: 01.02.2025). (In Russian).
4. Samotugin S.S. Vliyanie rezhima predvaritel'noi ob"emnoi zakalki na svoistva instrumental'nykh stalei pri plazmennom uprochnenii / S.S. Samotugin, O.YU. Nesterov, T.A. Kiritseva // CyberLeninka: ehlektronnaya biblioteka nauchnykh statei. – 2017. – [Ehlektronnyi resurs]. – URL:

https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-rezhima-predvaritelnoy-obemnoy-zakalki-na-svoystva-instrumentalnyh-staley-pri-plazmennom-uprochnenii. (In Russian).
5. Smagulov A.A. Tekhnologicheskie osobennosti ehlektrolitno-plazmennoi zakalki mashinostroitel'nykh detalei / A.A. Smagulov, M.K. Seitimov, A.K. Kusaiynov // Izvestiya vuzov. Mashinostroenie. – 2022. – № 6. – S. 15-21. (In Russian).
6. Satbaeva Z.A. Improvement of corrosion and wear properties of carbon steels by plasma electrolysis / Z.A. Satbaeva, A.V. Yakovlev // Surface Engineering. – 2020. – Vol. 36(5). – P. 421-429. (In English).
7. Rakhadilov B.K. Ehlektrolitno-plazmennoe uprochnenie stali 20GL: struktura i svoistva / B.K. Rakhadilov, M.D. Asin, M.S. Zhusupkhanov // Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. – 2022. – S. 55-62. (In Russian).
8. Fedorov E.A. Otsenka iznosostoikosti ehlektrolitno-plazmennykh pokrytii na litoi stali / E.A. Fedorov, N.V. Tokarev, V.P. Bobrova // Trenie i iznos. – 2019. – № 2. – S. 78-84. (In Russian).
9. Amrenova A.K. Electrophysical parameters of plasma-electrolytic treatment of low-alloy steels / A.K. Amrenova, A.B. Daulet, B.K. Sarmanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1026. – P. 12-18. (In English).
10. The impact of technological parameters of electrolytic-plasma treatment on the mechano-tribological properties of steel 45 / M.R. Bayati et al // AIMS Materials Science. – 2024. – 11(4). – P. 666-683. (In English).
11. The cathodic electrolytic plasma hardening of the 20Cr2Ni4A chromium–nickel steel / B.K. Rakhadilov et al // J. Mater. Res. Technol. – 2020. – № 9(4). – P. 6969-6976. (In English).
12. Tyurin Yu.N. Specific features of electrolytic-plasma quenching / Yu.N. Tyurin, A.D. Pogrebnyak // Technical Physics. – 2002. – № 47(11). – P. 1463-1464. (In English).
13. Oxy-nitriding AISI 304 stainless steel by plasma electrolytic surface saturation / H. Pérez et al // Metals. – 2023. – № 13(2). – Art. 309. (In English).
14. Electrolytic plasma processing – an innovative treatment for surface modification of 304 stainless steel / W. Gui et al // Sci. Rep. – 2017. – vol. 7, Art. 308. (In English).
15. Low voltage environmentally friendly plasma electrolytic oxidation process for titanium alloys / F. Hou et al // Sci. Rep. – 2022. – vol. 12, Art. 6037. (In English).

С.И. Буреш[1], Б.А. Лобасенко[2], Г.Б. Абдилова[1], Р.К. Кусаинов[1], А.М. Муратбаев[*]
[1]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., көш. Глинка, 20А
[2]Кемерово мемлекеттік университеті,
650000, Ресей Федерациясы, Кемерово, Красная к-сі, 9
[*]e-mail: great_mister@mail.ru

ЭЛЕКТРОЛИТТІК ПЛАЗМАЛЫҚ ШЫҢДАУДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ 20ГЛ БОЛАТТЫҢ ӨНІМДІЛІК ҚАСИЕТТЕРІН ЖАҚСАРТУ

Мақалада электролиттік плазманың қатаюының (ЭПҚ) 20GL болатының қасиеттеріне әсері зерттеледі. Жұмыс машина жасау және құрылыс өнеркәсібі үшін маңызды мәселені шешуге бағытталған - электролиттік плазманы шыңдаудың жоғары тиімді және салыстырмалы түрде жаңа әдісін қолдану арқылы 20GL шойын болаттан жасалған бөлшектердің қызмет ету мерзімін арттыру. Материалдың микроқаттылығын және коррозияға төзімділігін арттыратын өңдеу режимдері тәжірибе жүзінде анықталады. ЭПҚ бетінің сипаттамаларын жақсарта отырып, майда түйіршікті құрылым мен оксидті қабықтың пайда болуына ықпал ететіні анықталды. Әртүрлі ЭПҚ режимдеріндегі үлгілердің құрылымы мен қасиеттері туралы салыстырмалы деректер берілген. Оңтайлы шыңдау режимі (кернеу ~300 В, ұстау уақыты 8-10 с) 20GL болаттан жасалған құйылған бөлшектер үшін ұтымды таңдау болып табылады, жоғары қаттылық параметрлеріне қол жеткізу және коррозия белсенділігінің салыстырмалы түрде аз өсуі арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді. ЭПҚ әдісі дәстүрлі термиялық өңдеуге балама ретінде өнеркәсіпте жоғары қолдану мүмкіндігін көрсетті. Зерттеу нәтижелері 20GL болатты термиялық өңдеу әдістерін жетілдіреді, бұл машина жасауда, көлік құралдарында және ілеспе салаларда қолданылатын материалдардың пайдалану сипаттамаларын жақсартуға ықпал етеді. Электролиттік плазмалық қатайтуды қолдану болатты өңдеуге кететін уақыт пен энергия шығындарын азайтуға және процестің өзінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: *20ГЛ болат, электролиттік-плазмалық сөндіру, микроқаттылық, коррозияға төзімділік, микроқұрылым, экономикалық тиімділік.*

S. Buresh[1], B.A. Lobasenko[2], G. Abdilova[1], R. Kusainov[1], A. Muratbayev[*]
[1]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka St., 20A
[2]Kemerovo State University,
650000, Russian Federation, Kemerovo, 6 Krasnaya Street
[*]e-mail: great_mister@mail.ru

IMPROVING THE PERFORMANCE PROPERTIES OF 20GL STEEL BY ELECTROLYTIC PLASMA HARDENING

The article studies the effect of electrolytic plasma hardening (EPH) on the properties of 20GL steel. The work is aimed at solving an important problem for mechanical engineering and construction industries - increasing the service life of parts made of 20GL cast steel through the use of a highly efficient and relatively new method of electrolytic plasma hardening. The processing modes that increase the microhardness and corrosion resistance of the material are experimentally determined. It is found that EPH promotes the formation of a fine-grained structure and oxide film, improving the surface characteristics. Comparative data on the structure and properties of samples under different EPH modes are presented. The optimal hardening mode (voltage ~300 V, holding time 8-10 s) is a rational choice for cast parts made of 20GL steel, providing a balance between achieving high hardness parameters and a relatively small increase in corrosion activity. The EPH method has shown high applicability in industry as an alternative to traditional heat treatment. The results of the study will improve the methods of heat treatment of 20GL steel, which will contribute to the improvement of the performance characteristics of materials used in mechanical engineering, transport equipment and related industries. The use of electrolytic plasma hardening can reduce the time and energy costs of steel processing and increase the efficiency of the process itself.

Key words: *20GL steel, electrolytic plasma hardening, microhardness, corrosion resistance, microstructure, economic efficiency.*

Сведения об авторах

Сергей Игоревич Буреш – магистрант кафедры «Технологическое оборудование»; Шәкарім университет, Республика Казахстан; e-mail: buresh2002@mail.ru.

Борис Анатольевич Лобасенко – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет»; Россия, г. Кемерово. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0245-7904

Галия Бекеновна Абдилова – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой «Технологическое оборудование»; Шәкарім университет, Республика Казахстан; e-mail: tech_equipment_dept@shakarim.kz.

Ринат Кенжеевич Кусаинов – руководитель центра; Инжиниринговый центр «Упрочняющие технологии и покрытия» города Семей, Республика Казахстан; e-mail: mms.research.semey@gmail.com.

Алибек Манарбекович Муратбаев* – PhD, старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование»; Шәкарім университет, Республика Казахстан; e-mail: great_mister@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0830-5007.

Авторлар туралы

Сергей Игоревич Буреш – «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының магистранты; Шәкәрім университеті, ҚазақстанРеспубликасы; e-mail: buresh2002@mail.ru.

Борис Анатольевич Лобасенко – техника ғылымдарының докторы, «Кемерово мемлекеттік университеті» федералды мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесінің профессоры; Ресей, Кемерово қ. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0245-7904.

Ғалия Бекенқызы Абдилова– т.ғ.к., доцент, технологиялық жабдықтар кафедрасының меңгерушісі; Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: tech_equipment_dept@shakarim.kz.

Ринат Кенжеұлы Құсайынов – орталықбасшысы; ҚазақстанРеспубликасы, Семей қаласының «Технологиялар мен жабындардынығайту» инжинирингтік орталығы; электрондық поштасы: mms.research.semey@gmail.com.

Алибек Манарбекович Муратбаев* – PhD, «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының аға оқытушысы; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: great_mister@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0830-5007.

Information about the authors

Sergey Buresh – Master's student, Department of Technological Equipment; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: buresh2002@mail.ru.

Boris Lobasenko – doctor of technical sciences, professor, federal state budgetary educational institution of higher education «Kemerovo State University»; Russia, Kemerovo. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0245-7904.

Galiya Abdilova – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Technological Equipment; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: tech_equipment_dept@shakarim.kz.
Rinat Kusainov – Head of the Center; Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings» of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: mms.research.semey@gmail.com.
Alibek Muratbayev* – PhD, Senior Lecturer of the department «Technological equipment»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: great_mister@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0830-5007.

Поступила в редакцию 19.05.2025
Поступила после доработки 17.06.2025
Принята к публикации 31.07.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-21

CC BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 65.13.13

А.Қ. Базанова*[1], А.Қ. Кәкімов[1], Н.К. Ибрагимов[1], А.А. Майоров[2]
[1]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А
[2]ФААҒО Сібір ірімшік жасау ғылыми-зерттеу институты,
656016, Ресей Федерациясы, Алтай, Барнаул қ., Советская Армия көш., 66 үй
*e-mail: arayka.bazanovak@mail.ru

СҮТ ҚҰРАМЫНДА КЕЗДЕСЕТІН ЗИЯНДЫ ЗАТТАРДЫҢ МӨЛШЕРІН ТӨМЕНДЕТУГЕ АРНАЛҒАН АДСОРБЦИЯЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫНЫ ЖЕТІЛДІРУ: САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Аңдатпа: *Бұл мақалада сүт құрамындағы радионуклидтер мен ауыр металл тұздарының мөлшерін төмендету мақсатында адсорбциялық әдіске негізделген жетілдірілген қондырғы ұсынылады. Зерттеудің мақсаты – сүтті қауіпсіз тұтынуға мүмкіндік беретін тиімді тазарту технологиясын жасау. Сүт – жоғары биологиялық және тағамдық құндылыққа ие бағалы тағам өнімі. Ол адам ағзасына қажетті ақуыздар, майлар, дәрумендер мен микроэлементтерді қамтиды, яғни күнделікті тағам рационының маңызды бөлігі. Алайда экологиялық тұрақсыздық пен техногендік ластану жағдайында сүт өнімдерінің құрамында радионуклидтер мен ауыр металл тұздары сияқты адам денсаулығына қауіпті болуы мүмкін. Сол себепті сүтті зиянды заттардан тазартудың тиімді әдістерін әзірлеу өзекті мәселе болып отыр.*

Зерттеу жұмысында сүттегі зиянды заттардың мөлшерін азайтуға арналған адсорбция әдісіне негізделген эксперименттік қондырғыны жетілдіру ұсынылған. Сұйық тағам өнімдерін тазартуға арналған қондырғыны жетілдіру сұйықтықтың өту сызбасын түрлі комбинациялармен (бір, екі немесе үш баған арқылы) өзгерту мүмкіндігін іске асыруға мүмкіндік берді. Нақтылағанда тазарту процесін ластағыштардың деңгейі мен зиянды заттардың түріне қарай реттеуге жол ашады. Адсорбция әдісі ақуыздар, дәрумендер мен микроэлементтер сияқты құнды тағамдық заттарды төмендетпей, зиянды заттарды азайтуды қамтамасыз етеді. Қондырғы күрделі автоматиканы қажет етпейді және зертханалық жағдайда пайдалануға ыңғайлы. Қолжетімді және арзан табиғи сорбенттерді қолдану – тазарту процесінің өзіндік құнын төмендетеді.

Түйін сөздер: *тағам қауіпсіздігі, радиоактивті ластану, адсорбциялық сүзу, сорбциялық бағандар, табиғи сорбенттер.*

Кіріспе

Тағам өнімдерінің құрамында радионуклидтер мен ауыр металдардың болуы – қазіргі кездегі экологиялық және санитарлық маңызды мәселелердің бірі [1]. Сүт және сүт өнімдері сияқты сұйық тағамдар жоғары биологиялық және тағамдық маңыздылығымен ерекшеленеді. Олар ағзаға жеңіл сіңетін, бір-бірімен үйлесімді ақуыздар, майлар, көмірсулармен қатар, дәрумендер, минералды заттар және ферменттерге бай. Осы себепті сүт өнімдері күнделікті тамақтану рационында маңызды орын алады [2]. Жалпы, сиыр сүті – құнды тағамдық өнім. Оның құрамына дисперсиялық орта (минералды тұздар мен сүт қанты еріген плазма), коллоидтық фаза (ақуыздар мен тұздар) және ұсақ дисперсиялық фаза (сүт майы) кіреді. Сонымен қатар, оның құрамында химиялық шығу тегі бар зиянды заттар (радионуклидтер,

ауыр металдардың тұздары, пестицидтер және басқа да қоспалар) болуы мүмкін [3]. Халықаралық ғылыми дереккөздердің талдауына сүйенсек, сүт өнімдерін өндіруге арналған шикізат ретінде қолданылатын сиыр сүтінің құрамында экологиялық жағдайларға байланысты зиянды элементтердің жоғары мөлшері байқалады [4]. Бүгінгі таңда тамақ өнімдерін тазартуға арналған түрлі өңдеу жолдары, химиялық реакциялар мен процестерге негізделген көптеген әдістер әзірленген. Оларға мембраналық сүзу, кері осмос, химиялық тұндыру, еріткішпен экстракциялау, тотығу және адсорбция жатады [5]. Аталған әдістердің ішінде түрлі адсорбенттерді пайдалану арқылы жүзеге асырылатын сорбция үдерісі құрылымының қарапайымдылығы, әмбебаптығы, үнемділігі және іс жүзінде тиімді қолданылуымен ерекшеленеді. Идеалды сорбенттің басты сипаттамалары – жоғары тиімділік пен өңдеу шығынының төмен болуы [6].

Материалдар мен зерттеу әдістері

Сұйық орталарды тазартуға арналған сорбциялық бағандармен жабдықталған әртүрлі қондырғылардың конструкциялары белгілі. Алайда қолданыстағы аналогтар сұйықтықтың өту режимін икемді түрде басқаруға мүмкіндік бермейді, әртүрлі сорбенттерді әмбебап қолдануды қамтамасыз етпейді, сонымен қатар күрделі автоматтандыруды және жоғары өндірістік шығындарды талап етеді [7].

Сұйық ортадағы сүзу процесін модельдеуге арналған қондырғы белгілі (Қазақстан Республикасының инновациялық патенті № 30570, МПК G01N 15/00, жарияланған күні – 16.11.2015 ж.). Бұл қондырғы тірек құрылымынан, кіріс және шығыс магистральдарынан, сорбентпен толтырылатын сүзгі жүйесінен тұрады. Сүзгі жүйесі көпсекциялы болып орындалған және кіріс магистраліне параллель қосылған бірнеше сүзгіден құралады. Қондырғы сұйықтықты сүзу жүйесіне өздігінен ағу түрінде жеткізетін сорғы жүйесімен жабдықталған. Сүзгілер мөлдір материалдан дайындалған және құрамдас бөліктері ауыстырылатын цилиндр пішінді, бұрандалы жалғағышпен жабдықталған жоғарғы және төменгі қақпақтары бар конструкцияны құрайды. Сонымен қатар, бұл стенд өнеркәсіптік дайын сүзгілерді қолдана отырып, сүзу үдерісін зерттеуге мүмкіндік береді. Аталған қондырғыны біз прототип ретінде таңдадық. Алайда, оның басты кемшілігі – сұйықтықты параллель немесе тізбекті (яғни, аралас) түрде өткізу режимін іске асыру мүмкіндігінің болмауы, бұл сүзу процесінің икемділігін шектейді [8]. Аталған құрылымдық шешімдерді қолдану тәжірибелік қондырғыны одан әрі жетілдіруге, оның тиімділігі мен функционалдық мүмкіндіктерін арттыруға мүмкіндік берді [8].

Нәтижелер мен талқылаулар

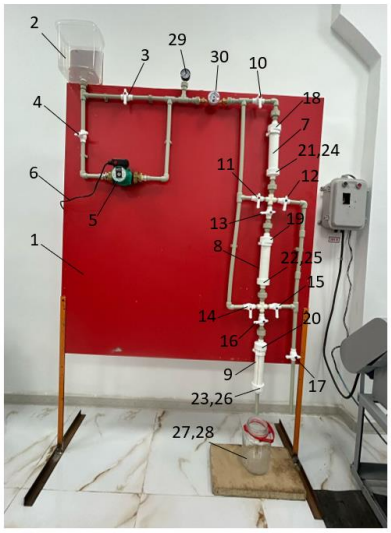
Біз ұсынған қондырғы тамақ өнеркәсібі саласына жатады, нақтырақ айтқанда, сұйық тағам өнімдерін зиянды заттардан (радионуклидтер мен ауыр металдардың тұздары) адсорбция әдісі арқылы тазарту тәсілдеріне және тәжірибелік зерттеулер жүргізуге арналған қондырғыларға қатысты.

Қондырғыны жетілдірудің басты мақсаты – сорбенттерді және сұйықтықтың өту сызбасын (бір, екі немесе үш бағанды әртүрлі комбинацияда пайдалану) реттеуге мүмкіндік беретін модульдік бағандық жүйені қолдану арқылы сұйық тағам өнімдерін зиянды заттардан тиімді тазарту, сонымен қатар тағам өнімінің тағамдық құндылығын сақтау.

Қондырғының техникалық нәтижесі – сұйық тағам өнімдерін зиянды заттардан тиімді тазарта отырып, өнімнің химиялық құрамын және органолептикалық қасиеттерін сақтау мүмкіндігі.

Аталған техникалық нәтиже мына шешім арқылы жүзеге асады: сұйық тағам өнімдерін зиянды заттардан тазартуға арналған қондырғы – үш тік орналасқан бағаннан, құбыр жүйесінен, сұйықтықты айдайтын сорғыдан және басқарушы крандардан тұратын қысымды жүйе болып табылады.

Тәжірибелік қондырғы (1 сур.) арқылы иллюстрацияланған, онда: 1 – тірек конструкциясы; 2 – қабылдағыш ыдыс; 3 – өздігінен ағу жұмыс сызбасын қосуға арналған кран; 4 – қысыммен айдау жұмыс сызбасын қосуға арналған кран; 5 – орталықтан тепкіш қалақшалы сорғы; 6 – қоректендіру блогы; 7, 8, 9 – сорбциялық бағандар; 10 - 17 – басқарушы крандар; 18 - 23 – жоғары/төмен температураға, қышқыл мен сілтіге төзімді техникалық резеңкеден жасалған тығыздағыштар; 24, 25, 26 – сорбенттің шайылып кетуінің алдын алатын торлар; 27, 28 – жинақтаушы ыдыстар; 29 – манометр; 30 – шығын өлшегіш.



Сурет 1 – Сұйық тағам өнімдерін адсорбция әдісімен зиянды заттардан тазартуға арналған тәжірибелік қондырғы

Құрастырылған қондырғы тірек құрылымға (1) орнатылған және өз құрамына сұйық тағам өнімін құюға арналған қабылдағыш ыдысты (2) қамтиды, бұл ыдыстан сұйықтық әрі қарай тазарту жүйесіне өтеді.

Сұйықтықтың қозғалысы екі түрлі режимде жүзеге асады: (3) кранын ашу арқылы өздігінен ағу режимінде – сорғыны пайдаланусыз; немесе (4) кранды ашып, (5) орталықтан тепкіш қалақшалы сорғыны іске қосу арқылы қысыммен айдалатын режимде.

Сорғы үш сатылы айналу жиілігін реттеу мүмкіндігіне ие және (6) қоректендіру блогы арқылы жұмыс істейді.

Стенд құрамына үш сорбциялық баған (7-9) кіреді. Олардың әрқайсысының жоғарғы және төменгі бөліктерінде техникалық резеңкеден жасалған, жоғары және төмен температураларға, қышқыл мен сілті әсеріне төзімді тығыздағыштар (18-23) орнатылған.

Сұйықтықтың өтуін басқару мақсатында стенд (10-17) крандармен жабдықталған.

Әрбір бағандардың төменгі бөлігінде сорбенттің шайылып кетуінің алдын алу үшін арнайы қорғаныш торлар (24-26) орнатылған.

Тазартылған сұйықтық екі жинақтаушы ыдысқа (27, 28) жиналады.

Жүйенің жұмыс параметрлерін бақылау мақсатында сұйықтық қысымын өлшейтін манометр (29) орнатылған, ол жүйедегі жұмыс қысымын бақылауға мүмкіндік береді.

Сондай-ақ жүйе арқылы өтетін сұйықтық мөлшерін анықтайтын және ағынның жылдамдығын бақылауға мүмкіндік беретін шығын өлшегіш (30) қарастырылған.

Сұйықтық ағыны жоғарыдан беріледі және сорғы арқылы бағандарға жіберіледі. Кран жүйесі келесі сүзу режимдерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді [9, 10]:

Жеке режимдер көмегімен:

1. Тек бірінші баған арқылы (7);
2. Тек екінші баған арқылы (8);
3. Тек үшінші баған арқылы (9).

Аралас режимдер көмегімен:

1. Бірінші және екінші бағандар арқылы (7, 8);
2. Бірінші және үшінші бағандар арқылы (7, 9);
3. Екінші және үшінші бағандар арқылы (8, 9);
4. Барлық үш баған арқылы (7, 8, 9).

Қорытынды

Сүттің құрамындағы зиянды заттарды тазартуға жасалған қондырғы – сұйық тағам өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етуге бағытталған, технологиялық жағынан тиімді әрі әмбебап шешім болып табылады. Әрбір баған радионуклидтер мен ауыр металдардың тұздарына қатысты селективтілігі ескеріліп таңдалған табиғи текті белгілі бір сорбентті қамтиды.

Аталған қондырғының артықшылығы – әрбір бағанды жеке немесе оларды әртүрлі реттілікпен біріктіріп қосуға мүмкіндік беретін крандар жүйесі арқылы икемді басқару мүмкіндігі. Бұл эксперимент жүргізу жағдайларын ескеріп, адсорбцияның ең тиімді режимдерін таңдауға мүмкіндік береді.

Жетілдірілген қондырғы түрлі сорбенттерді қолдана отырып, сұйық тағам өнімдеріндегі ағын режимдерін әртүрлі жағдайда зерттеумен қатар, сұйықтықтың ластану дәрежесіне байланысты тазарту режимін оңтайлы таңдауға жағдай жасайды.

Әдебиеттер тізімі

1. Developing the process parameters of milk pasteurization for reducing the concentration of toxic elements and radionuclides / A. Kakimov et al // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – № 14(13). – P. 2443-2447.
2. Моллобаева Д.С. Исследования швейцарских ученых о пользе молока и молочных продуктов / Д.С. Моллобаева, Е.В. Пономарёва // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2016. – № 4(7). – 4 с.
3. Сурков В.Д. Технологические оборудование предприятий молочной промышленности: учебник / В.Д. Сурков, Н.Н. Липатов, Ю.П. Золотин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – С. 47-57.
4. Pietrzak-Fiećko R. Evaluation of Cs-137 Content in Powdered Cow Milk form Four Regions Of Poland / R. Pietrzak-Fiećko, S. Smoczyński // Polish J. of Environ. Stud. – 2009. – Vol. 18, № 4. – P. 745-748.
5. Environmental issues: A challenge for wastewater treatment / M. Choudhary et al // In Green Materials for Wastewater Treatment. – Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. – 2020. – P. 1-12.
6. Sharahi F.J. Melamine-based dendrimer amine-modified magnetic nanoparticles as an efficient Pb (II) adsorbent for wastewater treatment: Adsorption optimization by response surface methodology / F.J. Sharahi, A. Shahbazi // Chemosphere 2017. – № 189. – P. 291-300.
7. Андриенко П.Е. Проблемы различных методов очистки воды / П.Е. Андриенко, Ж.А. Арушанян // Научные исследования молодых ученых: сборник статей XXVI Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС Наука и Просвещение. – 2024. – С. 32-35.
8. Патент РК №30570, G01N 15/00 Стенд для моделирования фильтрации жидкостей. Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Государственный университет им. Шакарима города Семей» / Какимов А.К., Ибрагимов Н.К., Какимова Ж.Х., Байбалинова Г.М. и другие. опубл.16.11.2015, бюл. № 11. – 3 с.
9. Базанова А.К. Сұйық тамақ өнімдерін улы заттардан тазартуға арналған қондырғы / А.К. Базанова, А.К. Какимов, Н.К. Ибрагимов //«Қазақстан – тоңазыту 2025» XIV халықаралық ғылыми-техникалық конференция баяндамаларының жинағы 29-30 сәуір 2025, – Б. 30.
10. Nanotechnology for sustainable wastewater treatment and use for agricultural production: A comparative long-term study / P.D.L.C. Bueno et al // Water Res. – 2017. – № 110. – P. 66-73.

References

1. Developing the process parameters of milk pasteurization for reducing the concentration of toxic elements and radionuclides / A. Kakimov et al // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – № 14(13). – P. 2443-2447. (In English).
2. Mollobaeva D.S. Issledovaniya shveitsarskikh uchenykh o pol'ze moloka i molochnykh produktov / D.S. Mollobaeva, E.V. Ponomareva // Ehlektronnyi nauchno-metodicheskii zhurnal Omskogo GAU. – 2016. – № 4(7). – 4 s. (In Russian).
3. Surkov V.D. Tekhnologicheskie oborudovanie predpriyatii molochnoi promyshlennosti: uchebnik / V.D. Surkov, N.N. Lipatov, YU.P. Zolotin. – M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1983. – S. 47-57. (In Russian).
4. Pietrzak-Fiećko R. Evaluation of Cs-137 Content in Powdered Cow Milk form Four Regions Of Poland / R. Pietrzak-Fiećko, S. Smoczyński // Polish J. of Environ. Stud. – 2009. – Vol. 18, № 4. – P. 745-748. (In English).
5. Environmental issues: A challenge for wastewater treatment / M. Choudhary et al // In Green Materials for Wastewater Treatment. – Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. – 2020. – P. 1-12. (In English).
6. Sharahi F.J. Melamine-based dendrimer amine-modified magnetic nanoparticles as an efficient Pb (II) adsorbent for wastewater treatment: Adsorption optimization by response surface methodology / F.J. Sharahi, A. Shahbazi // Chemosphere 2017. – № 189. – P. 291-300. (In English).

7. Andrienko P.E. Problemy razlichnykh metodov ochistki vody / P.E. Andrienko, ZH.A. Arushanyan // Nauchnye issledovaniya molodykh uchenykh: sbornik statei XXVI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – Penza: MTSNS Nauka i Prosveshchenie. – 2024. – S. 32-35. (In Russian).
8. Patent RK №30570, G01N 15/00 Stend dlya modelirovaniya fil'tratsii zhidkostei. Respublikanskoe gosudarstvennoe predpriyatie na prave khozyaistvennogo vedeniya «Gosudarstvennyi universitet im. Shakarima goroda Semel» / Kakimov A.K., Ibragimov N.K., Kakimova ZH.KH., Baibalinova G.M. i drugie. opubl.16.11.2015, byul. № 11. – 3 s. (In Russian).
9. Bazanova A.K. Sұiyқ tamaқ өnimderin uly zattardan tazartuға arnalған қondyrғy / A.K. Bazanova, A.K. Kakimov, N.K. Ibragimov //«Қazaқstan – toңazytu 2025» XIV khalyқaralyқ ғylymi-tekhnikalyқ konferentsiya bayandamalarynyң zhinaғy 29-30 səuir 2025, – B. 30. (In Kazakh).
10. Nanotechnology for sustainable wastewater treatment and use for agricultural production: A comparative long-term study / P.D.L.C. Bueno et al // Water Res. – 2017. – № 110. – P. 66-73. (In English).

А.К. Базанова*[1], А.К. Какимов[1], Н.К. Ибрагимов[1], А.А. Майоров[2]
[1]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
[2]ФАНЦА Сибирский научно-исследовательский институт сыроделия,
656016, Российская Федерация, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Советской Армии, дом 66
*e-mail: arayka.bazanovak@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АДСОРБЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В СОСТАВЕ МОЛОКА: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

В данной статье представлена усовершенствованная установка, основанная на адсорбционном методе, предназначенная для снижения содержания радионуклидов и солей тяжёлых металлов в составе молока. Цель исследования – разработка эффективной технологии очистки молока, обеспечивающей его безопасное потребление. Молоко является ценным пищевым продуктом с высокой биологической и питательной ценностью. Оно содержит белки, жиры, витамины и микроэлементы, необходимые для организма человека, и составляет важную часть повседневного рациона. Однако в условиях экологической нестабильности и техногенного загрязнения в молочной продукции могут накапливаться токсичные вещества, такие как радионуклиды и соли тяжёлых металлов, представляющие угрозу для здоровья человека. В связи с этим разработка эффективных методов очистки молока от вредных загрязнителей остаётся актуальной задачей.

В исследовании предложено усовершенствование экспериментальной установки, основанной на адсорбционном методе, предназначенной для уменьшения содержания вредных веществ в молоке. Конструкция установки предусматривает возможность изменения схемы протекания жидкости в различных комбинациях (через одну, две или три колонны), что позволяет адаптировать процесс очистки в зависимости от уровня загрязнения и типа токсичных компонентов. Метод адсорбции обеспечивает снижение содержания вредных веществ без разрушения ценных пищевых компонентов, таких как белки, витамины и микроэлементы. Установка не требует сложной автоматизации и может эффективно использоваться в лабораторных условиях. Применение доступных и недорогих природных сорбентов способствует снижению себестоимости очистки.

Ключевые слова: *пищевая безопасность, радиоактивное загрязнение, адсорбционная фильтрация, сорбционные колонны, природные сорбенты.*

A.K. Bazanova*[1], A.K. Kakimov[1], N.K. Ibragimov[1], A. Mayorov[2]
[1]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A
[2]FANCA Siberian Research Institute of Cheesemaking,
656016, Russian Federation, Altai, Barnaul, 66 Sovetskoy Armii Street
*e-mail: arayka.bazanovak@mail.ru

IMPROVEMENT OF AN ADSORPTION UNIT FOR REDUCING TOXIC SUBSTANCES IN MILK: A COMPARATIVE ANALYSIS

This article presents an improved adsorption-based unit designed to reduce the content of radionuclides and heavy metal salts in milk. The objective of the study is to develop an effective purification technology that ensures the safe consumption of milk. Milk is a valuable food product with high biological and

nutritional value. It contains proteins, fats, vitamins, and microelements essential for the human body and constitutes an important part of the daily diet. However, under conditions of environmental instability and technogenic pollution, dairy products may accumulate toxic substances such as radionuclides and heavy metal salts, which pose a threat to human health. Therefore, the development of effective methods for removing harmful contaminants from milk remains a relevant challenge.

The study proposes an improvement of an experimental adsorption-based unit aimed at reducing the concentration of toxic substances in milk. The unit design enables the adjustment of liquid flow schemes in various combinations (through one, two, or three columns), allowing the purification process to be tailored according to the degree of contamination and the nature of toxic components. The adsorption method ensures the removal of harmful substances without degrading valuable nutritional components such as proteins, vitamins, and microelements. The unit does not require complex automation and is suitable for use under laboratory conditions. The application of affordable and low-cost natural sorbents contributes to lowering the overall purification cost.

Key words: *food safety, radioactive contamination, adsorption filtration, sorption columns, natural sorbents.*

Авторлар туралы мәліметтер

Арай Қайратқызы Базанова* – «Биоинженерлік жүйелер» кафедрасының докторанты; Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: arayka.bazanovak@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1722-0657.

Айтбек Қалиұлы Кәкімов – техника ғылымдарының докторы, «Биоинженерлік жүйелер» кафедрасының профессоры; Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: bibi.53@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9607-1684.

Надир Кадырович Ибрагимов – техника ғылымдарының кандидаты, «Биоинженерлік жүйелер» кафедрасының оқытушысы; Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9607-823X.

Александр Альбертович Майоров – техника ғылымдарының докторы, профессор, Федералды мемлекеттік бюджеттік ғылыми мекемесі «Федералды Алтай агробиотехнология ғылыми орталығы» Сібір ірімшік жасау ғылыми-зерттеу институты» зертхана басшысы, бас ғылыми қызметкері, Ресей Федерациясы; e-mail: sibniis.altai@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1237-2907.

Сведения об авторах

Арай Кайратовна Базанова* – докторант кафедры «Биоинженерных систем»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: arayka.bazanovak@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1722-0657.

Айтбек Калиевич Какимов – доктор технических наук, профессор кафедры «Биоинженерных систем»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: bibi.53@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9607-1684.

Надир Кадырович Ибрагимов – кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Биоинженерных систем»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9607-823X.

Александр Альбертович Майоров – доктор технических наук, профессор, руководитель лаборатории, главный научный сотрудник Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» Сибирский научно-исследовательский институт сыроделия», Российская Федерация; e-mail: sibniis.altai@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1237-2907.

Information about the authors

Aray Bazanova* – doctoral student, department of «Bioengineering Systems»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: arayka.bazanovak@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1722-0657.

Aitbek Kakimov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of «Bioengineering Systems»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: bibi.53@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9607-1684.

Nadir Ibragimov – Candidate of Technical Sciences, Lecturer, Department of «Bioengineering Systems»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9607-823X.

Alexander Mayorov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory, Chief Researcher Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology Siberian Scientific Research Institute of Cheese Production, Russian Federation; e-mail: sibniis.altai@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1237-2907.

Редакцияға енуі 14.07.2025
Өңдеуден кейін түсуі 19.08.2025
Жариялауға қабылданды 25.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-22

IRSTI: 53.49.05

BY 4.0
Check for updates

R.K. Kussainov, A.B. Shynarbek, R.Kh. Kurmangaliyev, N.E. Kadyrbolat, N.E. Musatayeva*
Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinki Street 20a,
*e-mail: naziramusataeva51@gmail.com

PHYSICAL FOUNDATIONS OF THE FORMATION OF A STRENGTHENED STRUCTURE OF STRUCTURAL STEELS DURING ELECTROLYTIC-PLASMA HARDENING

Abstract: *This article presents the results of a comprehensive study on the effect of electrolytic-plasma hardening (EPH) on the microstructure and mechanical properties of structural steel grade St4. This steel is widely used in heavy engineering and railway transport, where components operate under conditions of severe wear and variable loads, which highlights the relevance of developing effective strengthening methods. The experiments were carried out on specimens cut from a railway wheel rim, which makes the obtained results practically significant. The treatment was performed in an electrolyte consisting of 10% urea + 20% sodium carbonate + 70% water. The EPH regime included a voltage of 280 V, a current of 40 A, and a treatment duration of 9 seconds. This regime provided rapid heating of the surface layer to the austenitic state followed by instantaneous quenching in the electrolyte. Investigations carried out using scanning electron microscopy and metallographic analysis revealed that after EPH, the surface layer with a thickness of 1.0–1.5 mm consisted of a characteristic needle-shaped martensitic structure. Microhardness measurements confirmed a significant strengthening effect: the hardness increased fourfold from 200 HV to 800 HV. The substantial increase in hardness was accompanied by improved wear resistance and crack resistance, while maintaining the plastic properties of the material core. The obtained results demonstrate the high efficiency of EPH as an environmentally friendly and energy-saving local heat treatment method, which can be recommended to enhance the operational reliability and service life of critical components made of St4 structural steel.*

Key words: *electrolytic-plasma hardening, St4 steel, microstructure, microhardness, martensite, wear resistance.*

Introduction: Structural steels hold a key position among the materials used in mechanical engineering, construction, and related industries. This is due to their optimal combination of strength, ductility, processability, and relatively low cost. However, during operation, these materials are subjected to intense mechanical and corrosive influences, including abrasive wear, cyclic loads, and aggressive environments. This significantly reduces the service life of machine parts and components, necessitating the search for effective surface hardening methods aimed at enhancing their durability and operational reliability [1].

In recent decades, the method of electrolytic-plasma hardening (EPH), based on the high-speed heating of the metal surface layer due to the formation of a vapor-gas envelope when an electric current is passed through an electrolyte [2], has been actively developed. Micro-discharges occur on the sample surface, causing local heating, followed by rapid cooling in the same electrolyte. This mechanism ensures the formation of a fine-dispersion hardened structure, particularly martensite, while simultaneously preserving the ductile properties of the material's core. The method is advantageously different from traditional heat treatment methods: it allows for local hardening of specific zones of a part, is characterized by high heating and cooling rates (on the order of seconds), low energy consumption, environmental friendliness, absence of deformation, and the ability to process parts of complex shapes and large-sized products.

For example, in study [3], hardening of steel 45 was carried out using an electrolyte based on a 20% sodium carbonate solution. The authors applied a voltage of 270-280 V and a holding time of 7-8 seconds. As a result of the treatment, the microhardness of the surface layer increased by 3.1-3.62 times compared to the initial state, and wear resistance increased by 7 times. The structure of the hardened layer consisted of uniformly distributed martensite, the formation of which was due to the high heating and quenching rates. This research demonstrated that EPH ensures not only an improvement in the surface strength characteristics but also a significant increase in the part's resistance to wear during operation.

In another study [4], the subject of research was steel 40KhN. Experiments were conducted using an electrolyte containing 15% sodium carbonate, with a holding time of about 3 seconds. The

authors recorded a twofold increase in the microhardness of the treated samples compared to the initial state, as well as a 70% reduction in wear intensity. It was additionally noted that under such conditions, uniform formation of the hardened layer is achieved without thermal damage to the core, which is an important factor for the operation of structural parts.

Thus, electrolytic-plasma hardening is an effective and promising method for the surface hardening of structural steels [5]. It allows for combining high hardness, wear resistance, and corrosion resistance of treated parts with the preservation of the core's ductile properties. However, the task of studying the physical mechanisms underlying the formation of the hardened structure during EPH remains relevant. Establishing the patterns of phase transformations and the influence of processing parameters on the formation of hardened layers is a necessary condition for developing optimal hardening regimes for various grades of structural steels, including widely used cast alloys such as St4.

Research Methods

Experimental research and testing were conducted at the Engineering Center of the "Шәкәрім Университет" Non-Commercial Joint-Stock Company, Kazakhstan. The subject of the research was St4. The steel sample was cut from the bandage of a railway wheel in the form of a parallelepiped with dimensions of 15×15×10 mm³. At low cutting speeds and low load, the sample did not experience deformation or thermal impact. According to GOST 380-2005, the chemical composition of St4 is given below in Table 1. Surface hardening was carried out in an electrolyte with the composition: 10% urea $(NH_2)_2CO$ + 20% sodium carbonate Na_2CO_3 + 70% water for 9 seconds, at a temperature of 850-900 °C, a voltage of 280 V, and a current of 40 A.

Table 1

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	As	Fe
0,18-0,27	0,15-0,3	0,4-0,7	< 0,05	< 0,05	< 0,30	< 0,30	< 0,30	< 0,08	Balance

Scanning Electron Microscopy (SEM) on a TESCAN VEGA Compact instrument was used to study the microstructure and phase composition of St4 after EPH treatment. This instrument allows for a detailed study of the material's surface morphological changes, including the identification of characteristic structural elements, phase inclusions, and the distribution of alloying elements.

The microhardness measurement of the samples in their initial state, as well as after hardening, was performed on an HV-1 DT Vickers microhardness tester with an indenter load of P=1 N and a dwell time under load of t = 10 s for all samples.

A metallographic microscope Altami 5C (Russian Federation) with adjustable lighting capabilities was used to study the microstructure of the samples.

Results and Discussion

The surface of the St4 steel in its initial state is characterized by a typical equilibrium ferrite-pearlite structure formed during the slow cooling process after hot rolling. The microstructure presents a distinct two-phase structure, consisting of light ferritic and dark pearlitic areas (Fig. 1).

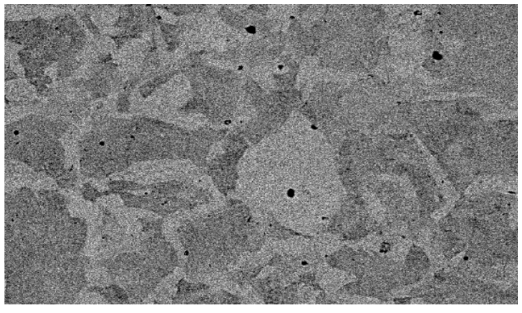


Figure 1 – Microstructure of St4 before EPH

The ferritic regions, which constitute the main matrix of the material, appear light in color after etching and represent a solid solution of carbon in α-iron with a body-centered cubic lattice. These areas are characterized by low hardness and high ductility.

The pearlitic formations, appearing as dark zones, are a mixture consisting of alternating plates of ferrite and cementite. This structural constituent provides higher strength characteristics compared to ferrite.

The microstructure demonstrates a pronounced banding (rolling texture), where the structural constituents are elongated in the direction of deformation. This type of structure is characteristic of the hot-rolled condition and is determined by the manufacturing technology of the initial product – the bandage of a railway wheel.

The absence of signs of thermal impact and deformation confirms the preservation of the initial structure after sample cutting, which ensures the correctness of subsequent studies on the influence of electrolytic-plasma hardening on microstructure transformation.

After electrolytic-plasma hardening conducted at 850-900°C for 9 seconds with subsequent intensive cooling in the electrolyte medium, the surface microstructure of St4 steel undergoes complete transformation (Fig. 2). The initial ferrite-pearlite structure is replaced by acicular martensite with characteristic lath morphology.

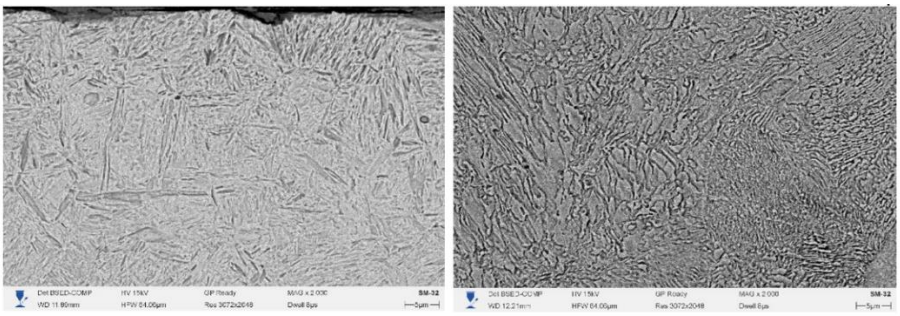


Figure 2 – Microstructure of St4 after EPH

Heating the surface to temperatures of 850-900 °C for 9 seconds leads to a phase transition of α-iron (ferrite) into γ-iron (austenite) with the dissolution of carbide phases. The subsequent intensive cooling in the electrolyte medium ensures a high rate of heat removal, which is critical for suppressing the diffusion processes of austenite decomposition.

As a result, a diffusionless martensitic transformation occurs, characterized by a shear mechanism of crystal lattice rearrangement from face-centered cubic (austenite) to body-centered tetragonal (martensite). The martensitic structure manifests itself in the form of characteristic acicular or plate-like formations observed during microscopic analysis.

The conducted studies showed that electrolytic-plasma hardening of St4 steel leads to significant strengthening of the surface layer. According to the data presented in Figure 3, the initial microhardness of the material was approximately 200 HV. After treatment by the EPH method, the microhardness value reached 800 HV, demonstrating an almost fourfold increase in this indicator.

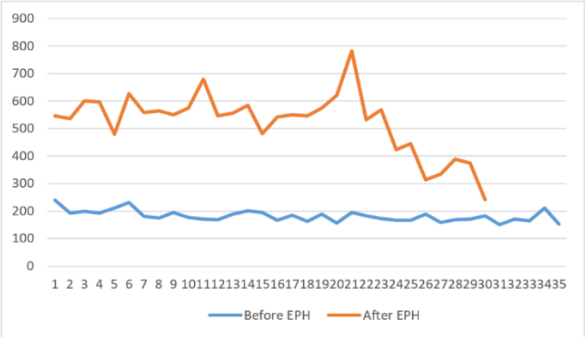


Figure 3 – Microhardness HV

The conducted studies have shown that electrolytic-plasma hardening of St4 steel leads to significant strengthening of the surface layer. According to the data presented in Figure 3, the initial microhardness of the material was approximately 200 HV. After treatment using the EPH method, the microhardness value reached 800 HV, demonstrating an almost fourfold increase in this indicator.

Such a substantial increase in hardness is accompanied by an improvement in a complex of operational characteristics, including enhanced crack resistance and wear resistance of the treated surface. The established pattern confirms the effectiveness of using electrolytic-plasma hardening for the surface strengthening of low-carbon St4 steel.

The microhardness measurement results are consistent with microstructural studies, which revealed the formation of a martensitic structure in the surface layer after treatment. The obtained data demonstrate the promise of applying EPH to improve the operational characteristics of products made from St4 steel.

Conclusion

The conducted research confirmed the high efficiency of electrolytic-plasma hardening for strengthening the surface layer of St4 steel. Treatment in the mode of 280 V, 40 A, 9 s at a temperature of 850-900 °C ensured the formation of fine-acicular martensite and complete disappearance of the initial ferrite-pearlite structure.

The microhardness measurement results showed an increase from 200 HV to 800 HV, indicating a fourfold growth in hardness. This was accompanied by improvements in operational characteristics, including wear resistance and crack resistance of the surface.

EPH is a promising method for processing critical components operating under conditions of wear and cyclic loads. The method combines high processing speed, environmental friendliness, and the capability of hardening complex-shaped parts. Further research should be directed toward optimizing treatment parameters for other grades of steel.

References

1. Markov D.P. Introduction of Hardenability Assessment Standards for Improving the Quality of Low-Carbon Steel Products / D.P. Markov // Mechanical Equipment of Metallurgical Plants. – 2018. – № 2. – P. 38-44.
2. Belkin P.N. Electrolytic-Plasma Cementation of Metals and Alloys / P.N. Belkin, S.A. Kusmanov // Electronic Material Processing. – 2020. – № 56(5). – P. 40-74.
3. Application of Electrolytic-Plasma Hardening for Improving the Properties of Machine Parts Made from Steel 45 / R.K. Kusainov et al // Shakarim University Bulletin. Series of Technical Sciences. – 2024. – № 3(15). – P. 62-70.
4. Influence of Electrolytic-Plasma Hardening on the Tribological Properties of Steel 40KhN / A.B. Kenesbekov et al // Bulletin of the D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University. – 2018. – № 4. – P. 144-151.
5. Tribological Characteristics of Tool Steel After Electrolytic-Plasma Nitrocarburizing / L.A. Markina et al // In Rapidly Quenched Materials and Coatings. Proceedings of the XX International Scientific and Technical Conference. – 2023. – P. 201). LitRes.
6. Hardening and Alloying of Steel by Electrolytic-Plasma Treatment / A.D. Pogrebnjak et al. – 2003.
7. Kombayev K.K. Innovations in Increasing the Microhardness of Drill Bit Steel by Electrolytic-Plasma Hardening / K.K. Kombayev, B.A. Toktar // Achievements of University Science. – 2018.
8. Surface Modification of Steel 30KhGSA Using Electrolytic-Plasma Thermal Cycling Hardening / B.K. Rakhadilov et al // In New Materials and Technologies: Powder Metallurgy, Composite Materials, Protective Coatings, Welding. – 2022. – P. 610-616.
9. Influence of Electrolytic-Plasma Surface Hardening on the Structure and Properties of Steel 40KhN / G.M. Toktarbayeva et al // Bulletin of the D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University. – 2020. – № 1. – P. 199-204.
10. Tribological Behavior of Steel 20 After Local Cementation by Jet Electrolytic-Plasma Heating / E.V. Sokova et al // Editorial Board. – № 250. – P. 127.
11. Smyslova M.K. Influence of Electrolytic-Plasma Treatment on the Physicochemical State of the Surface and Mechanical Properties of Steam Turbine Blades Made from Steel 20Kh13 / M.K. Smyslova, D.R. Tamindarov, A.B. Samarkina // Aerospace Engineering and Technology. – 2011. – № 7. – P. 25-28.
12. Tabieva E.E. Influence of Surface Hardening on the Matrix Morphology and Phase Composition of Ferritic-Pearlitic Steel / E.E. Tabieva, N.A. Popova, E.L. Nikonenko // In Prospects for the Development of Fundamental Sciences: Proceedings of the XVII International Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists, Tomsk, April 21-24, 2020. – Vol. 1: Physics. – P. 197-199.
13. Tyurin, Yu.N. Features of Electrolytic-Plasma Hardening (EPH). – 1999.

14. Influence of Surface Hardening on Structural-Phase Transformations in Ferritic-Pearlitic Steel St2. In Physical Mesomechanics / N.A. Popova et al 88 Materials with Multilevel Hierarchically Organized Structure and Intelligent Production Technologies. – 2020. – P. 228.
15. Electrolytic-Plasma Treatment and Coating Deposition on Metals and Alloys / A.D. Pogrebnjak et al // Advances in Metal Physics. – 2005.
16. Pogrebnjak A.D. Electrolytic-Plasma Technology for Coating Deposition and Treatment of Metals and Alloys / A.D. Pogrebnjak, A.Sh. Kaverina, M.K. Kylyshkanov // Surface Physics and Chemistry, Protection of Materials. – 2014. – № 50(1). – P. 72-88.
17. Study of the Influence of Electrolytic-Plasma Treatment on the Structure and Wear Resistance of Drill Tool Steel / K. Erkin et al // International Innovation Research. – 2017. – P. 49-56.
18. Influence of Electrolyte Composition on the Microstructure, Phase Composition, and Operational Properties of Steel 45 After Electrolytic-Plasma Nitriding / Z.A. Satbayeva et al // Shakarim University Bulletin. Series of Technical Sciences. – 2024. – № 3(15). – P. 405-414.

Р.Қ. Құсайынов, А.Б. Шынарбек, Р.Х. Құрманғалиев, Н.Е. Қадырболат, Н.Е. Мұсатаева*
Шәкәрім атындағы университет,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки көшесі 20а,
*e-mail: naziramusataeva51@gmail.com

КОНСТРУКЦИЯЛЫҚ БОЛАТТАРДЫҢ ЭЛЕКТРОЛИТ-ПЛАЗМАЛЫҚ ШЫНЫҚТЫРУ КЕЗІНДЕ НЫҒАЙТЫЛҒАН ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

Аңдатпа: *Мақалада Ст4 маркалы конструкциялық болаттың микроструктурасы мен механикалық қасиеттеріне электролит-плазмалық шынықтырудың (ЭПШ) әсерін кешенді зерттеу нәтижелері келтірілген. Бұл болат ауыр машина жасау мен теміржол көлігінде кеңінен қолданылады, онда бөлшектер қарқынды тозу мен ауыспалы жүктемелер жағдайында жұмыс істейді, бұл оны тиімді шынықтыру әдістерін әзірлеудің өзектілігін айқындайды. Тәжірибелер теміржол дөңгелегінің бандажынан кесіп алынған үлгілерде жүргізілді, бұл алынған нәтижелерді практикалық маңызды деп қарастыруға мүмкіндік береді. Өңдеу құрамы: 10 % карбамид + 20 % натрий карбонаты + 70 % су болатын электролитте жүргізілді. ЭПШ режимі 280 В кернеуді, 40 А ток күшін және 9 секундтық әсер ету уақытын қамтыды. Мұндай режим беткі қабатты аустениттік күйге дейін жоғары жылдамдықпен қыздыруды және электролитте лезде салқындатуды қамтамасыз етті. Сканирлеуші электрондық микроскопия және металлографиялық талдау әдістерімен жүргізілген зерттеулер ЭПШ-дан кейін қалыңдығы 1,0–1,5 мм болатын беткі қабатта инелі мартенситтің құрылымы қалыптасатынын көрсетті. Микроқаттылықты өлшеулер беріктіктің айтарлықтай артқанын растады: көрсеткіш 200 HV-ден 800 HV-ге дейін төрт есе өсті. Қаттылықтың айтарлықтай өсуі материал өзегінің пластикалық қасиеттерін сақтай отырып, тозуға және жарықшаққа төзімділіктің артуымен қатар жүрді. Алынған нәтижелер ЭПШ-ның экологиялық таза және энергия үнемдейтін жергілікті термоөңдеу әдісі ретінде жоғары тиімділігін дәлелдейді және оны Ст4 болатынан жасалған жауапты бөлшектердің сенімділігі мен ұзақ қызмет ету мерзімін арттыру үшін қолдануды ұсынады.*

Түйін сөздер: *электролит-плазмалық шынықтыру, Ст4 болаты, микроструктура, микроқаттылық, мартенсит, тозуға төзімділік.*

Р.К. Кусаинов, А.Б. Шынарбек, Р.Х. Курмангалиев, Н.Е. Кадырболат, Н.Е. Мусатаева*
Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, Семей, ул. Глинки 20а,
*e-mail: naziramusataeva51@gmail.com

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ УПРОЧНЁННОЙ СТРУКТУРЫ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКЕ

Аннотация: *В статье представлены результаты комплексного исследования влияния электролитно-плазменной закалки (ЭПЗ) на микроструктуру и механические свойства конструкционной стали марки Ст4. Данная сталь широко используется в тяжёлом машиностроении и железнодорожном транспорте, где детали эксплуатируются в условиях интенсивного износа и переменных нагрузок, что определяет актуальность разработки эффективных методов её упрочнения. Эксперименты проводились на образцах, вырезанных из бандажа железнодорожного колеса, что позволяет рассматривать полученные результаты как практически значимые. Обработка осуществлялась в электролите состава: 10 % карбамид + 20 %*

карбонат натрия + 70 % вода. Режим ЭПЗ включал напряжение 280 В, силу тока 40 А и продолжительность воздействия 9 секунд. Такой режим обеспечил высокоскоростной нагрев поверхностного слоя до аустенитного состояния с последующим мгновенным охлаждением в электролите. Исследования, выполненные методами сканирующей электронной микроскопии и металлографического анализа, показали, что после ЭПЗ в поверхностном слое толщиной 1,0-1,5 мм формируется характерная игольчатая структура мартенсита. Измерения микротвёрдости подтвердили значительный эффект упрочнения: показатель увеличился в четыре раза – с 200 HV до 800 HV. Существенный рост твёрдости сопровождался повышением износостойкости и трещиностойкости при сохранении пластичных свойств сердцевины материала. Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность ЭПЗ как экологичного и энергосберегающего метода локальной термообработки, который может быть рекомендован для повышения эксплуатационной надёжности и долговечности ответственных деталей из конструкционной стали Ст4.

Ключевые слова: *электролитно-плазменная закалка, сталь Ст4, микроструктура, микротвёрдость, мартенсит, износостойкость.*

Information about the authors

Rinat Kussainov – Head of the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», Semey, Kazakhstan; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru.

Aibek Shynarbek – Researcher at the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», Semey, Kazakhstan; e-mail: aibeek-99@list.ru.

Rinat Kurmangaliyev – Junior Researcher at the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», Semey, Kazakhstan; e-mail: rinat_real@rambler.ru.

Nurlat Kadyrbolat – Student, group TE-201, Shakarim University, Semey, Kazakhstan; e-mail: ersinnur44@gmail.com.

Nazira Musatayeva* – Student, group F-302, Shakarim University, Semey, Kazakhstan; e-mail: naziramusataeva51@gmail.com.

Авторлар туралы мәліметтер

Ринат Кенжеұлы Кусаинов – «Упрочняющие технологий и покрытия» инженерлік орталығының жетекшісі, Семей қ., Қазақстан; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru.

Айбек Бақытжанұлы Шынарбек – «Упрочняющие технологий и покрытия» инженерлік орталығының ғылыми қызметкері, Семей қ., Қазақстан; e-mail: aibeek-99@list.ru.

Ринат Хамитұлы Құрманғалиев – «Упрочняющие технологий и покрытия» инженерлік орталығының кіші ғылыми қызметкері, Семей қ., Қазақстан; e-mail: rinat_real@rambler.ru.

Нұрлат Ерболұлы Қадырболат – Шәкәрім университеті, ТЭ-201 тобының студенті, Семей қ., Қазақстан; e-mail: ersinnur44@gmail.com.

Назира Ержановна Мусатаева* – Шәкәрім университеті, Ф-302 тобының студенті, Семей қ., Қазақстан; e-mail: naziramusataeva51@gmail.com.

Сведения об авторах

Ринат Кенжеевич Кусаинов – руководитель Инжинирингового центра «Упрочняющие технологий и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru.

Айбек Бакытжанулы Шынарбек – научный сотрудник Инжинирингового центра «Упрочняющие технологий и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: aibeek-99@list.ru.

Ринат Хамитулы Курмангалиев – младший научный сотрудник Инжинирингового центра «Упрочняющие технологии и покрытия», Семей, Казахстан; e-mail: rinat_real@rambler.ru.

Нұрлат Ерболұлы Қадырболат – студент группы ТЭ-201 Шәкәрім университет, г.Семей, Казахстан, e-mail: ersinnur44@gmail.com

Назира Ержановна Мусатаева – студент группы Ф-302 Шәкәрім университет, г. Семей, Казахстан, e-mail: naziramusataeva51@gmail.com.

Received 26.07.2025
Revised 28.08.2025
Accepted 03.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-23

CC BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 55.01.11

Д.Б. Ермекова*, У Ган
Северо-Западный университет сельского и лесного хозяйства,
712100, Қытай, № 3, Тайчэн-роуд, Янлин, Шэньси
*e-mail: birnzarova_diana@mail.ru

МАШИНОСТРОЕНИЕ В ШӘКӘРІМ УНИВЕРСИТЕТЕ: СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Аннотация: *В статье рассмотрены основные научные направления и результаты исследований в области машиностроения, проводимых в Шәкәрім Университете города Семей. Проанализированы публикации в серии «Технические науки» Вестника университета Шәкәріма, отражающие эволюцию тематик – от технологий упрочнения материалов до проектирования специализированной техники и внедрения интеллектуальных систем. Показано, что учёные университета добились значительных успехов в повышении износостойкости и долговечности материалов, разработке малогабаритной спецтехники для сельского хозяйства и строительства, а также в интеграции современных цифровых подходов (IoT, автоматизация) в традиционные инженерные задачи. Отдельное внимание уделено формам научной коллаборации: внутреннему взаимодействию кафедр и исследовательских центров университета, участию студентов, а также партнерству с индустрией и зарубежными вузами. Подчёркнуты наиболее инновационные работы, продемонстрировавшие существенное улучшение свойств материалов и эффективность разработанных инженерных решений.*

Ключевые слова: *Машиностроение, Шәкәрім Университет, направления, исследования, материалы.*

Введение

Шәкәрім Университет – один из ведущих вузов Восточного Казахстана, где машиностроение является приоритетным направлением научных исследований. Анализ публикаций последних лет показывает, что учёные университета активно решают актуальные задачи отрасли: повышение износостойкости материалов, создание новой техники и совершенствование технологических процессов. Актуальность этих исследований обусловлена потребностями машиностроительных производств, которые в настоящее время несут значительные экономические потери из-за недостатка качественных материалов и оборудования, их быстрого износа, коррозии и прочих факторов. Традиционные методы термообработки хоть и эффективны, но энергоёмки и не всегда обеспечивают требуемое качество, особенно при обработке крупногабаритных изделий. В этих условиях перед учёными Шәкәрім Университета стоит задача разработки новых подходов к упрочнению деталей машин и улучшению эксплуатационных характеристик техники.

В публикациях 2024-2025 гг. отражена эволюция научных интересов университета. Ранние работы были посвящены преимущественно материалам и технологиям их обработки, тогда как более свежие исследования включают разработку готовых образцов техники и внедрение интеллектуальных систем мониторинга и управления. Далее в статье выделены ключевые научные направления, формы сотрудничества и наиболее яркие достижения, продемонстрированные в анализируемых публикациях.

Упрочнение материалов и покрытий

Одно из центральных направлений – исследования по повышению прочности и долговечности конструкционных материалов. В нескольких статьях представлены результаты применения современных методов поверхностной обработки стали и сплавов. Так, группа под руководством Р.К. Кусаинов с коллегами исследовал электролитно-плазменную закалку (ЭПЗ) стали 45 – широко используемой в машиностроении углеродистой стали. Установлено значительное улучшение свойств металла после ЭПЗ: твердость образцов увеличилась в 3,1-3,6 раза, а износостойкость возросла в 7 раз [1]. Эти впечатляющие результаты сопровождаются демонстрацией экономической эффективности метода, что подчёркивает перспективность электролитно-плазменной обработки для промышленности.

Другой к омплекс исследований посвящён микродуговому оксидированию (МДО) легких сплавов (алюминия, титана и др.) – процессу формирования сверхтвёрдых оксидных покрытий на поверхности металла. В работах. показано, что МДО позволяет получать износостойкие и коррозионностойкие покрытия на деталях из алюминиевых и титановых сплавов [2-4]. В частности, в статье «Перспективы использования микродугового оксидирования в производстве авиационных и автомобильных компонентов» [5] детально рассмотрены режимы процесса и полученные структуры покрытий. Авторы (коллектив кафедры «Технологическое оборудование» совместно с профессором Б.А. Лобасенко из Кемеровского университета) отмечают, что полученное оксидное покрытие значительно повышает ресурс деталей, обеспечивая защиту от износа и коррозии в условиях эксплуатации авиа- и автотехники.

Помимо электро- и микроплазменных технологий, учёные Шәкәрім Университета исследуют и традиционные методы нанесения покрытий, модернизируя их для повышения эффективности. Так, в работе по электродуговой металлизации (в частности, методом сверхзвукового дугового напыления – SAM) изучалось влияние технологических параметров напыления на свойства защитных слоёв. Показано, например, что с увеличением давления распылителя формируются более плотные и однородные покрытия, снижается их шероховатость, а твёрдость напылённого слоя возрастает. При оптимальных режимах твёрдость напылённого покрытия на основе проволоки марки 30ХГСА превышает твёрдость как стали 45, так и исходного материала проволоки, достигая ~330 HV. Это объясняется более высокой скоростью и энергией частиц при повышенном давлении, что обеспечивает лучшее уплотнение и спекание покрытия со снижением пористости. Данные результаты открывают возможности для применения электродугового напыления при восстановлении и упрочнении деталей машин, требующих износостойких слоёв [6].

Таким образом, в области материаловедения и технологий покрытий учёными университета создан задел, позволяющий существенно увеличить срок службы деталей. Достигнутые 7-кратные приросты износостойкости и многократное повышение твердости свидетельствуют о высокой инновационности этих исследований. Практическая ценность результатов подтверждается экономическими оценками: новый метод упрочнения не только улучшает качество продукции, но и потенциально снижает расходы на ремонт и замену деталей за счёт продления их ресурса.

Проектирование и производство специализированной техники

Другим важным направлением исследований является разработка новой техники и оптимизация машин и агрегатов для различных отраслей. В публикациях отражён широкий спектр проектов – от сельскохозяйственных машин до узлов общепромышленного назначения. Особое место занимают работы по созданию малогабаритной специализированной техники. В одной из статей 2024 года (авторы – А.С. Жакупов, Е.Б. Алжанов, представители инженерной компании из г. Алматы) проведён обзор состояния отечественного производства малогабаритной спецтехники – в первую очередь мини-тракторов и мини-погрузчиков. Отмечается, что такие машины востребованы в условиях ограниченных пространств и для нужд малого бизнеса и фермерских хозяйств. Авторы рассмотрели ключевые аспекты разработки компактной техники (конструкцию, материалы, технологии изготовления) и оценили эффективность её применения. Результаты исследований демонстрируют высокую отдачу: мини-тракторы и мини-погрузчики оказались экономически выгодны, экологически безопасны и полезны на практике в сельском хозяйстве и строительстве. На основе проведенного анализа сделан вывод о необходимости развития производства малогабаритной спецтехники в Казахстане как эффективного решения для частного сектора и снижения импортозависимости страны. Это свидетельствует о стратегической важности данных разработок и поддерживается государственными приоритетами в локализации техники [7].

Конкретным инженерным проработкам посвящены и другие статьи. Например, ряд работ ориентирован на совершенствование узлов машин: расчёт и оптимизация шнековых механизмов (подающих устройств) [8], повышение эффективности центрифуг [9] различных типов, улучшение технологий шлифования и измельчения [10, 11] в промышленности и т.д. Так, исследование по выбору оптимального типа промышленной центрифуги обобщило существующие конструкции и предложило методику обоснованного выбора оборудования под конкретные производственные задачи. В другой работе проанализирован процесс помола в

разных отраслях (горнодобывающей, цементной, пищевой и др.) и отмечено, что несмотря на развитие технологий, традиционные мельницы сталкиваются с проблемами износа и энергоёмкости. Авторы провели комплексный обзор современных решений для интенсификации процесса измельчения, что имеет большое значение для повышения энергоэффективности отрасли.

Отдельно стоит упомянуть разработки, учитывающие. Примером является исследование, посвященное оптимизации процесса сушки традиционного молочного продукта – курта. В этой работе объединены усилия инженеров-технологов и специалистов по автоматизации для создания установки с контролируемым температурным режимом сушки. Цель – повысить качество готового продукта и энергоэффективность процесса. Данная тема иллюстрирует стремление университета решать прикладные задачи местной пищевой промышленности, сочетая знания в машиностроении (конструирование сушильного оборудования) и агротехнологиях [12, 13].

Интеллектуальные системы и цифровые технологии в машиностроении

Современное машиностроение немыслимо без внедрения систем автоматизации, контроля и цифрового анализа данных. Исследователи Шәкәрім Университета активно применяют такие подходы, разрабатывая собственные интеллектуальные системы для мониторинга технологических процессов и управления оборудованием. В одной из недавних работ предложена **интеллектуальная система управления параметрами чистых помещений** на производстве [14]. Эта система, базирующаяся на сети датчиков и алгоритмах IoT, автоматически поддерживает требуемый микроклимат (температуру, влажность, чистоту воздуха) в лабораториях и производственных помещениях с особыми требованиями. По сути, создано программно-аппаратное решение, способное в реальном времени отслеживать отклонения и регулировать работу вентиляции и кондиционирования. Авторы отмечают, что применение подобных умных систем обеспечивает необходимое качество среды в чистых помещениях и снижает нагрузку на персонал.

Другой пример интеграции цифровых технологий – разработка системы измерения температуры на базе недорогих сенсоров DS18B20 и микроконтроллера. Эта система использовалась исследователями для точного контроля температурного режима при сушке курта и других пищевых продуктов. Благодаря автоматическому сбору и записи данных удалось более детально изучить динамику сушки и выявить оптимальные параметры процесса. Такие решения демонстрируют, как технологии Интернета вещей (IoT) могут быть встроены в традиционные установки, позволяя повысить их управляемость и эффективность [15].

Отметим, что внедрение элементов искусственного интеллекта и больших данных в рассматриваемых работах пока находится на начальном этапе – в виде относительно простых экспертных систем и цифровых датчиков. Однако заложенная основа открывает путь к более сложным в машиностроении. Уже сейчас университетские специалисты пробуют применять машинное обучение для анализа вибраций и предиктивного обслуживания оборудования, разрабатывают прототипы роботизированных устройств для сельского хозяйства. Эти начинания свидетельствуют о стремлении университета соответствовать мировым тенденциям Industry 4.0 и готовности внедрять интеллектуальные технологии в учебный процесс и научную работу [16].

Научная коллаборация и инновации

Анализ авторского состава статей показывает, что многие исследования выполняются во взаимодействии разных подразделений университета, а также при участии сторонних организаций. Например, работы по упрочняющим технологиям материалов проводятся в тесном сотрудничестве кафедры технологического оборудования и Инжинирингового центра «Упрочняющие технологии и покрытия» самого университета. Это обеспечивает синергетический эффект: академические знания объединяются с практическими экспериментальными возможностями центра, что ускоряет получение результатов и приближает их к внедрению. В исследовании по электролитно-плазменной закалке помимо преподавателей и сотрудников центра участвовал студент магистратуры, который выступил соавтором – подобная интеграция образовательного процесса и научной работы способствует подготовке квалифицированных кадров.

Примечательно международное сотрудничество, развиваемое университетом. Ряд публикаций выполнен в кооперации с зарубежными коллегами. В частности, в исследованиях по микродуговому оксидированию и созданию новых видов техники соавтором выступает профессор Б.А. Лобасенко из Кемеровского государственного университета (Россия). Российские партнеры привносят экспертизу в области промышленного дизайна и материаловедения, что обогащает совместные проекты. Ещё один пример – статьи, написанные в соавторстве с инженерами частной компании JAS Engineering (г. Алматы), посвященные малогабаритной спецтехнике. Здесь налицо связка «вуз – производство»: практический опыт индустриальных специалистов дополняет научный подход университетских исследователей.

География сотрудничества охватывает также другие города и страны: в авторских коллективах встречаются специалисты из Астаны, Павлодара, Усть-Каменогорска, Ульяновска и др. Такое широкое взаимодействие позволяет решать комплексные научные задачи, требующие разных компетенций, и повышает качество проводимых исследований. Кроме того, публикация совместных работ в университетском Вестнике расширяет научное влияние издания и привлекает внимание к нему со стороны внешних организаций.

Инновационность многих рассматриваемых работ подтверждается не только цифрами улучшенных показателей, но и тем, что полученные результаты доводятся до уровня практических рекомендаций и опытных образцов. Например, методика электро-плазменной обработки стали 45, разработанная учёными, может быть напрямую внедрена на машиностроительных предприятиях для упрочнения инструмента и деталей, повышая их ресурс в разы. Проект отечественного мини-трактора уже находится на стадии опытного производства в сотрудничестве с промышленными партнёрами, что должно сократить зависимость фермеров от импортной техники. Разработанные интеллектуальные системы мониторинга интегрируются в учебные лаборатории и опытно-промышленные установки университета, служа прототипами для дальнейшего масштабирования в реальных производствах.

Таким образом, исследования в сфере машиностроения Шәкәрім Университета носят прикладной характер и ориентированы на решение насущных проблем отрасли. Через сотрудничество с производством и зарубежными вузами удаётся ускорить внедрение новых технологий. А вовлечение молодых ученых и студентов в эти проекты обеспечивает преемственность знаний и генерацию свежих идей, необходимых для поддержания инновационного потенциала университета.

Заключение

Обобщая обзор научных работ, опубликованных в «Вестнике Университета Шакарима. Серия технические науки», можно сделать вывод, что машиностроительная школа Шәкәрім Университета динамично развивается и охватывает широкий спектр направлений. От повышения износостойкости материалов до создания собственных образцов малогабаритной техники – исследования охватывают как фундаментальные аспекты материаловедения, так и прикладные инженерные разработки. Такая разноплановость обусловлена потребностями региона и страны: Казахстану требуются и новые технологии обработки металлов для промышленности, и собственная сельхозтехника для фермеров, и современные системы автоматизации для повышения эффективности производств.

Характерной чертой исследований является их практическая направленность и ориентация на внедрение. Почти в каждой работе присутствует анализ экономической эффективности или прикладной ценности предлагаемых решений – будь то новый метод упрочнения или проект мини-установки. Это соответствует общей стратегии университета быть центром не только образования, но и инноваций в своём регионе. Стоит отметить и высокий уровень научной кооперации: многие достижения стали возможны благодаря совместной работе разных кафедр, участию студентов, а также партнёрству с зарубежными специалистами и промышленными компаниями. Такая модель «открытой науки» повышает качество исследований и позволяет университету решать задачи междисциплинарного характера.

Наиболее инновационные результаты, выявленные в проанализированных статьях, включают:

– многократное улучшение свойств стали 45 методом ЭПЗ (что открывает путь к новым стандартам прочности деталей);

- создание толстых износостойких покрытий методом дугового напыления с уникальной твердостью выше исходного материала;
- разработку отечественных образцов спецтехники, способных заполнить нишу на внутреннем рынке;
- внедрение интеллектуальных подсистем контроля, повышающих автоматизацию машиностроительных процессов.

Все это свидетельствует о высоком инновационном потенциале Шәкәрім Университета.

В дальнейшем можно ожидать углубления данных направлений и появления новых исследований на стыке машиностроения с информационными технологиями, энергетикой и материалами. Опыт, накопленный учёными университета, и налаженные коллаборации создают прочную основу для успешного развития научных школ. Можно с уверенностью сказать, что машиностроение в Шәкәрім Университете – это сочетающее традиции и новаторство направление, результаты которого уже сейчас востребованы промышленностью и будут играть важную роль в технологическом прогрессе региона.

Список литературы

1. Кусаинов Р.К. и др. Применение электролитно-плазменного упрочнения для улучшения свойств деталей машины из стали 45 // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 3(15). – С. 62-70. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-10.
2. Жасулан А.Ж. и др. Кальций-фосфатные покрытия, полученные методом микродугового оксидирования (обзор) // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2023. – № 2(10). – С. 12-22. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2023-2(10)-2.
3. Серікбекұлы Н. и др. Исследование и применение технологии микродугового оксидирования для восстановления рабочих поверхностей поршня грузовых транспортных средств // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 1(13). – С. 44-53. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-1(13)-7.
4. Серікбекұлы Н. и др. Изучение воздействия электролитической среды на структурно-фазовый состав кальций-фосфатных покрытий, полученных методом микродугового оксидирования на поверхности титанового сплава ВТ1-0 // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 2(14). – С. 355-364. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-44.
5. Серікбекұлы Н. и др. Перспективы использования микродугового оксидирования в производстве авиационных и автомобильных компонентов // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 3(15). – С. 71-78. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-11.
6. Шынарбек А.Б. и др. Оптимизация параметров электродуговой металлизации для улучшения свойств покрытий стали 30ХГСА в автомобильной промышленности // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 4(16). – С. 90-96. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-12.
7. Жакупов А.С. Отечественное производство малогабаритной спецтехники (мини-тракторы, мини-фронтальные погрузчики) / А.С. Жакупов, Е.Б. Алжанов // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 4(16). – С. 96-103. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-13.
8. Шаяхметова М.К. и др. Расчет шнека-питателя на прочность // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2025. – № 1(17). – С. 66-71. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1(17)-8.
9. Шаяхметова М.К. и др. Применение метода множителей лагранжа с целью оптимизации процесса центрифугирования // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 4(16). – С. 278-288. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-36.
10. Сергибаева Ж.А. и др. Влияние сил трения при обработке поверхностей деталей // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 2(14). – С. 82-91. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-11.
11. Сериков Е.А. и др. Исследования процессов механической обработки мясного сырья // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2025. – № 2(18). – С. 150-158. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-18.

12. Ағзам Е.М. и др. Выбор оптимального оборудования при сушке курта // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 2(14). – С. 66-73. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-9.
13. Ағзам Е.М. и др. Разработка сушильной установки для производства курта // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 3(15). – С. 104-110. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-15.
14. Иманбек Б.Т. и др. Интеллектуальная система управления мониторинга и управления климатом в чистых помещениях на основе IOT и SCADA // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 4(16). – С. 127-135. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-17.
15. Ағзам Е.М. и др. Разработка системы измерения температуры сушильной установки для мониторинга процесса сушки курта // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2025. – № 1(17). – С. 93-100. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1(17)-12.
16. Сагиндыков К.М. и др. Исследование уязвимостей платформ и протоколов интернета вещей с использованием методов тестирования на проникновение / // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2025. – № 2(18). – Р. 65-74. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-8.

References

1. Kusainov R.K. i dr. Primenenie ehlektrolitno-plazmennogo uprochneniya dlya uluchsheniya svoistv detalei mashiny iz stali 45 // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 3(15). – S. 62-70. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-10. (In Russian).
2. Zhasulan A.ZH. i dr. Kal'tsii-fosfatnye pokrytiya, poluchennye metodom mikrodugovogo oksidirovaniya (obzor) // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2023. – № 2(10). – S. 12-22. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2023-2(10)-2. (In Russian).
3. Serikbekұly N. i dr. Issledovanie i primenenie tekhnologii mikrodugovogo oksidirovaniya dlya vosstanovleniya rabochikh poverkhnostei porshnya gruzovykh transportnykh sredstv // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 1(13). – S. 44-53. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-1(13)-7. (In Russian).
4. Serikbekұly N. i dr. Izuchenie vozdeistviya ehlektroliticheskoi sredy na strukturno-fazovyi sostav kal'tsii-fosfatnykh pokrytii, poluchennykh metodom mikrodugovogo oksidirovaniya na poverkhnosti titanovogo splava VT1-0 // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 2(14). – S. 355-364. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-44. (In Russian).
5. Serikbekұly N. i dr. Perspektivy ispol'zovaniya mikrodugovogo oksidirovaniya v proizvodstve aviatsionnykh i avtomobil'nykh komponentov // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 3(15). – S. 71-78. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-11. (In Russian).
6. Shynarbek A.B. i dr. Optimizatsiya parametrov ehlektrodugovoi metallizatsii dlya uluchsheniya svoistv pokrytii stali 30KHGSA v avtomobil'noi promyshlennosti // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 4(16). – S. 90-96. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-12. (In Russian).
7. Zhakupov A.S. Otechestvennoe proizvodstvo malogabaritnoi spetstekhniki (mini-traktory, mini-frontal'nye pogruzchiki) / A.S. Zhakupov, E.B. Alzhanov // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 4(16). – S. 96-103. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-13. (In Russian).
8. Shayakhmetova M.K. i dr. Raschet Shneka-Pitatelya na Prochnost' // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2025. – № 1(17). – S. 66-71. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1(17)-8. (In Russian).
9. Shayakhmetova M.K. i dr. Primenenie metoda mnozhitelei lagranzha s tsel'yu optimizatsii protsessa tsentrifugirovaniya // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 4(16). – S. 278-288. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-36. (In Russian).
10. Sergibaeva Zh.A. i dr. Vliyanie sil treniya pri obrabotke poverkhnostei detalei // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 2(14). – S. 82-91. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-11. (In Russian).
11. Serikov E.A. i dr. Issledovaniya protsessov mekhanicheskoi obrabotki myasnogo syr'ya // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2025. – № 2(18). – S. 150-158. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-18. (In Russian).

12. Aғzam E.M. i dr. Vybor optimal'nogo oborudovaniya pri sushke kurta // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 2(14). – S. 66-73. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-9. (In Russian).
13. Aғzam E.M. i dr.Razrabotka sushil'noi ustanovki dlya proizvodstva kurta // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 3(15). – S. 104-110. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-15. (In Russian).
14. Imanbek B.T. i dr. Intellektual'naya sistema upravleniya monitoringa i upravleniya klimatom v chistykh pomeshcheniyakh na osnove IOT i SCADA // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 4(16). – S. 127-135. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-17. (In Russian).
15. Aғzam E.M. i dr. Razrabotka sistemy izmereniya temperatury sushil'noi ustanovki dlya monitoringa protsessa sushki kurta // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2025. – № 1(17). – S. 93-100. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1(17)-12. (In Russian).
16. Sagindykov K.M. i dr. Issledovanie uyazvimostei platform i protokolov interneta veshchei s ispol'zovaniem metodov testirovaniya na proniknovenie // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2025. – № 2(18). – R. 65-74. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-8. (In Russian).

Д.Б. Ермекова*, У Ганң
Қытайдың Солтүстік-Батыс ауыл және орман шаруашылығы университетіні,
712100, Қытай, № 3, Тайчэн-роуд, Янлин, Шэньси
*e-mail: birnzarova_diana@mail.ru

ШӘКӘРІМ УНИВЕРСИТЕТІНДЕГІ МАШИНА ЖАСАУ: ЗАМАНАУИ БАҒЫТТАР

Мақалада Шәкәрім университетте машина жасау саласындағы жүргізілген зерттеулердің негізгі ғылыми бағыттары мен нәтижелері қарастырылған. Шәкәрім атындағы университет хабаршысының «Техникалық ғылымдар» сериясындағы жарияланымдар талданады, тақырыптардың эволюциясын көрсетеді – материалды шыңдау технологияларынан мамандандырылған жабдықты жобалау және интеллектуалды жүйелерді енгізуге дейін. Университет ғалымдары материалдардың тозуға төзімділігі мен беріктігін арттыруда, ауыл шаруашылығы мен құрылысқа арналған шағын өлшемді арнайы жабдықтарды жасауда, сондай-ақ заманауи цифрлық тәсілдерді (IoT, автоматтандыру) дәстүрлі инженерлік тапсырмаларға біріктіруде айтарлықтай табыстарға қол жеткізгені көрсетілген. Ғылыми ынтымақтастық нысандарына ерекше назар аударылады: университет кафедралары мен ғылыми орталықтарының ішкі өзара әрекеттесуі, студенттердің қатысуы, сонымен қатар салалық және шетелдік университеттермен серіктестік. Материалдардың қасиеттерінің айтарлықтай жақсарғанын және әзірленген инженерлік шешімдердің тиімділігін көрсеткен ең инновациялық жұмыстарға тоқталды.

Түйін сөздер: *машина жасау, Шәкәрім университеті, бағыттар, зерттеулер, материалдар.*

D.B. Yermekova*, Wu Gang
Northwest A&F University,
712100, China, No.3 Taicheng Road, Yangling, Shaanxi
*e-mail: birnzarova_diana@mail.ru

MECHANICAL ENGINEERING AT SHAKAR UNIVERSITY: MODERN TRENDS

Abstract: *The article discusses the main scientific directions and results of research in the field of mechanical engineering conducted at Shakarim University in Semey. The publications in the series "Engineering Sciences" of the Shakarim University Bulletin are analyzed, reflecting the evolution of topics - from material hardening technologies to the design of specialized equipment and the implementation of intelligent systems. It is shown that university scientists have achieved significant success in increasing the wear resistance and durability of materials, developing small-sized special equipment for agriculture and construction, as well as in integrating modern digital approaches (IoT, automation) into traditional engineering tasks. Special attention is paid to the forms of scientific collaboration: internal interaction of departments and research centers of the university, participation of students, as well as partnership with industry and foreign universities. The most innovative works that demonstrated significant improvement in the properties of materials and the effectiveness of the developed engineering solutions are emphasized.*

Key words: *Mechanical engineering, Kazakh University, directions, research, materials.*

Сведения об авторах

Диана Болатбеккызы Ермекова* – магистр сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник Северозападного университета сельского и лесного хозяйства, КНР; e-mail: birnzarova_diana@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1046-9822.

У Ган – PhD, ассоциированный профессор факультета пищевой технологии и инженерии Северозападного университета сельского и лесного хозяйства, КНР; email: gang.wu@nwsuaf.edu.cn.

Авторлар туралы мәліметтер

Диана Болатбеккызы Ермекова* – ауыл шаруашылы ғылымдарының магистрі, кіші ғылыми қызметкер, Қытайдың Солтүстік-Батыс ауыл және орман шаруашылығы университеті; e-mail: birnzarova_diana@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1046-9822.

У Ган – PhD, Қытайдың Солтүстік-Батыс ауыл және орман шаруашылығы университетінің тамақ технологиясы және инженерия факультетінің қауымдастырылған профессоры; e-mail: gang.wu@nwsuaf.edu.cn.

Information about the authors

Diana Bolatbekkyzy Yermekova* – master of agricultural sciences, junior science officer; Northwest A&F University, PR China; e-mail: birnzarova_diana@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1046-9822.

Wu Gang – PhD, Associate Professor at the College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, PR China; e-mail: gang.wu@nwsuaf.edu.cn.

Поступила в редакцию 29.06.2025
Принята к публикации 01.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-24

ҒТАХР: 65.63.33

BY 4.0
Check for updates

Б. Калемшарив[1,2], А. Ибраева[1], А.Қ. Игенбаев[1], А.К. Мустафаева[1*], Г.Б. Абдилова[3]
[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
010011, Қазақстан, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы 62,
[2]И. Раззаков атындағы Қырғыз мемлекеттік техникалық университеті,
720044, Қырғыз Республикасы, Бішкек қаласы
[3]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А
*e-mail: ayaulym.mustafa@mail.ru

ДӘСТҮРЛІ ЖӘНЕ АЦИДОФИЛЬДІ ҰЙЫТҚЫЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП СҮТҚЫШҚЫЛДЫ СУСЫН ДАЙЫНДАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ

Аңдатпа: *Қазіргі кезде адамдардың өмір сүру салтының өзгеруі және қоршаған ортаның ағзаға әсеріне байланысты тамақтану рационына деген талаптар да өзгеріп отыр. Осы мақсатта аралас сүт өнімдерін қолдану негізінде сүтқышқылды өнімдердің ассортиментін кеңейту, сапалы өнімдерді әзірлеу тағам индустриясының дамуының маңызды бағыты болып табылады. Ұсынылып отырған мақалада бие сүті мен сиыр сүтінің әртүрлі қатынастарының негізінде сүтқышқылды сусын дайындауға арналған. Зерттеу жүргізу барысында бие сүті мен сиыр сүтінің және әртүрлі ұйытқының (дәстүрлі және ацидофильді) ферментация процесіне, өнімнің физика-химиялық, микробиологиялық және органолептикалық көрсеткіштеріне әсері анықталды. Тәжірибе жүргізу нәтижесінде әртүрлі жануар сүтінен сүтқышқылды сусындар (бие сүті-100%, сиыр сүті-100%, сондай-ақ олардың 70:30, 50:50, 30:70 қатынастарында) дайындалып, нәтижелері талданды. Жүргізілген зерттеулер нәтижелері бойынша, бие және сиыр сүті 50% қатынасында қосылған және ацидофильді ұйытқымен дайындалған қышқыл сүт өнімі органолептикалық, микробиологиялық және физика-химиялық көрсеткіштер бойынша үздік нәтиже көрсетті. Сонымен қатар аралас сүттен әзірленген сүтқышқылды сусынның қауіпсіздігі мен тағамдық құндылығы жоғары, барлық көрсеткіштерінің талапқа сай екендігі дәлелденді және осы өнімді функционалды тамақтану мақсатында ұсынылатын өнім ретінде тұтынуға ұсыныс жасалды. Функционалды бағыттағы сусын ағза үшін өте пайдалы және ағзаның жұмысын реттеуге ықпал етеді.*

Түйін сөздер: *бие сүті, сиыр сүті, ферментация, ацидофильді ұйытқы, функционалдық өнімдер.*

Кіріспе

Қазіргі кезде елімізде тамақ өнеркәсібі саласында әртүрлі жануарлардың сүтін аралас пайдалануға дейін қызығушылық айтарлықтай өсті. Әсіресе, химиялық құрамы мен физиологиялық қасиеттері жағынан ана сүтіне жақын бірегей өнім болып табылатын бие сүтіне де ерекше назар аударылуда. Бие сүті лактозаның жоғары мөлшерімен, майлылығының төмендігімен және ақуыз құрамының ерекшелігімен сипатталады. Оның құрамында сарысу ақуыздары басым болып келеді, бұл оның сіңімділігін арттырып, гипоаллергенді қасиеттер береді [1].

Зерттеудің өзектілігі функционалды қышқылсүтті өнімдерге сұраныстың өсуімен расталады, өйткені олар емдік-профилактикалық және диеталық қасиеттерге ие. Мұндай өнімдер ішек микрофлорасын қалпына келтіруге ықпал етіп, зат алмасуын жақсартады және антиоксиданттық, микробқа қарсы белсенділік танытады. Бұл олардың түрлі аурулардың алдын алу мен тұрғындардың денсаулығын жақсартуда үлкен маңызға ие екендігін көрсетеді [2]. Дегенмен, нарықта бие сүтінен жасалған қышқылсүт өнімдерінің ассортименті шектеулі,

сондай-ақ бие және сиыр сүттерін араластырып, түрлі ұйытқылар қолдана отырып жаңа өнімдер жасау бойынша зерттеулерді тереңдету өте өзекті.

Зерттеу жүргізу барысында бие сүті мен сиыр сүтін әртүрлі қатынаста қосу және әртүрлі ұйытқылардың ферментация процесіне, физика-химиялық, органолептикалық және функционалдық сипаттамаларына әсерін зерттеу жұмыстары жүргізілді.

Зерттеу жүргізу кезінде төмендегі мәселелерді қарастыру міндетте қойылды, олар:

– жоғары органолептикалық және функционалдық қасиеттерге ие қышқылсүт өнімін алу үшін бие сүті мен сиыр сүтінің оңтайлы қатынасын анықтау.

– дәстүрлі (Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus + Streptococcus thermophilus) және ацидофильді (Lactobacillus acidophilus) ұйытқылардың ферментация процесіне және дайын қышқыл сүтті өнімнің сапасына әсерін бағалау.

– бие, сиыр сүтінен дайындалған аралас сүт негізіндегі өнімдердің сүтқышқылды бактериялар төзімділігіне талдау жасау.

Жүргізілген зерттеулер бие сүті негізіндегі функционалдық қышқылсүт өнімдерінің ассортиментін кеңейтуге және олардың диеталық, әрі емдік-сауықтыру мақсатында тамақтану өнімін дайындау болашағын бағалауға мүмкіндік береді.

Зерттеу нысандары мен әдістері

Зерттеу жұмыстары С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің «Сүт және сүтті қайта өңдеу эксперименттік-өндірістік цехында» орындалды. Әртүрлі қатынастағы бие мен сиыр сүттерінен дайындалған аралас сүт өніміне ұйытқы қосу арқылы дайындалған сүтқышқылды өнімдерге зерттеу жүргізілді. Зерттеу нысаны сиыр және бие сүті Ақмола облысы Ақжар ауылынан алынды.

Сиыр сүтінің құрамында су 87,5%, сүт қанты, май, ақуыздар, минералдық заттар, дәрумендер мен ферменттер бар. Сиыр сүтінің физика-химиялық көрсеткіштері әр түрлі болып келеді, яғни сиырдың тұқымына, оның қорегіне және күтімі мен сауу маусымына және тағы басқа да көптеген факторларға байланысты. Сүт құрамына 200-ден астам биологиялық заттар кіреді. Оның ішінде 20 аминқышқылдары, 147 май қышылы, 30 макро- және микроэлементтер, 23 дәрумендер, 20 глицерид, 4 қант түрі, гармондар, пигменттер, ферменттер, фосфатидтер, газдар бар [3, 4].

Бие сүті – құрамында су, сүт майы, сүт қанты, ақуыздар, тұздар, фосфатидтер, ферменттер, дәрумендер, микроэлементтер, гормондар, иммундық денелер, пигменттер мен газдар бар күрделі биологиялық сұйықтық. Сүттің негізгі компоненттері – сүт майы мен сүт қант-өте ерекше. Сүтте барлығы 200-ге жуық жеке заттар бар, сондықтан оның құрамы адам мен жануарлардың таптырмас тағамы болып табылады [4].

Көптеген зерттеулер көрсеткендей, бие сүті басқа ауылшаруашылық жануарларының сүтінен негізгі компоненттерінің құрамы, сүт майы мен ақуыз заттарының ерекше құрамы бойынша айтарлықтай ерекшеленеді, төмендегі 1-кестеде сиыр сүті мен бие сүтінің құрамы көрсетілген.

Кесте 1 – Әртүрлі сүттердің құрамындағы компоненттердің пайыздық қатынасы, %

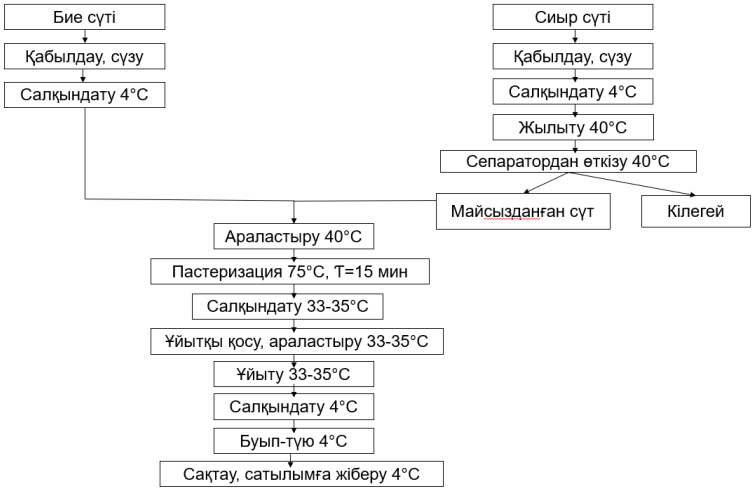
Көрсеткіштер, %	Сиыр сүті	Бие сүті
Құрғақ зат	12,5	11,2
Жалпы ақуыз	3,0-3,3	1,5-2,3
Казеин	85,0	50,7
Альбумин+Глобулин	15,0	49,3
Лактоза	4,7	6,0-7,0
Ұшпа май қышқылдар саны	23,0-30,0	4,8
Сабындану саны	222-232	208
Минералды тұздар	0,7	0,3

1-кестеден көріп тұрғанымыздай адамның тамақтануы үшін қолданылатын сүт түрлерінің құрамы көрсетілген. 1 кг бие сүтінің энергетикалық құндылығы 990 кДж құрайды. Бие сүтіндегі жалпы ақуыздың мөлшері орта есеппен 1,5-тен 2,3% - ға дейін өзгереді, бұл оның сиыр сүтіндегі мөлшерінен едәуір төмен, бірақ оның құрамында адамның тамақтануына қажетті барлық маңызды аминқышқылдары бар.

Аминқышқылдарының құрамы бойынша бие сүті сиырға қарағанда толыққанды және ана сүтіне жақын болып келеді. Бие сүтінің маңызды аминқышқылдарының ішінен валин

орташа есеппен 110 мг/% құрайды; изолейцин – 117; лейцин – 174; лизин – 185; метионин – 65; фенилаланин – 233 мг/%) ауыстырылатындардың ішінен глутамин қышқылы – 298 мг/%, аспарагин қышқылы – 181, аланин – 140, аргинин – 135, пролин – 127 мг/%. Бие сүтіндегі лизин, аргинин және фенилаланиннің мөлшері сиырға қарағанда көп, валин мен лейцин аз, ал метионин мен цистин бірдей мөлшерде болатындығы анықталды. Сүттегі ақуыз заттарының құрамында казеин, альбумин, глобулин бар. Егер сиыр сүтінде ақуыздардың 100 бөлігінің 85% казеин және 15% альбумин құраса, онда бие сүтінде бұл қатынас сәйкесінше 50,7% және 49,5% құрайды, сондықтан бие сүті альбумин болып саналады. Бие сүтіндегі сүт қантының мөлшері орта есеппен 6,0-7,0% құрайды, бұл сиыр сүтіне қарағанда бір жарым есе көп болады. Бие сүтіндегі көмірсулар сиыр сүтіне қарағанда 1,5 есе көп, бие сүтінің қанты ағзаға толық сіңетін лактоза болып табылады [5, 6]. Сондықтан зерттеу жұмысында сиыр және бие сүті бір бірін толықтырып, дәрумендерге бай толыққанды өнім дайындауға мүмкіндік беретіндіктен аралас сүт өнімін пайдаландық.

Аралас сүт негізіндегі қышқылсүтті сусын дайындау үрдісі төмендегідей: шикізатты қабылдау, органолептикалық және физика-химиялық қасиеттері бойынша талдау жасау, «Шикі сиыр сүті. Техникалық шарттар» МЕМСТ 31449-2013 стандарты талаптарына сай келетін шикізат қабылданады (1 сурет). Стандарт талаптарына сай келетін сусын тазаланып аралық сақтауға қалдырылады. Сиыр сүтінің майлылығын қалыпқа келтіру үшін «Мотор СІЧ-100» маркалы сепараторы арқылы майсыз сүт пен кілегей ажыратылады, одан кейін майлылығын 1,2% жеткізу үшін 40-45^{0}С температурада нормалау үрдісі өтеді. Аралас сүт шикізаты 70-75^{0}С температурада 10-15 минут пастерленеді, 60-65^{0}С температурада 12 МПА қысымда гомогенделеді, одан әрі ұйыту температурасына дейін салқындатылады. Ұйытқы ретінде дәстүрлі ұйытқы (*Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus + Streptococcus thermophilus*) мен ацидофильді ұйытқы (*Lactobacillus acidophilus*) пайдаланылды. Ұйытқы 5% мөлшерде 40°С температурада енгізілді. Ұйыту процесі 33-35°С температурада 6-8 сағат аралығында белсенді қышқылдылығы pH 4,5-4,7 дейін жүргізіледі. Дайын болған ұйытынды араластырылады, салқындатылады және буып-түюге жіберіледі [7].



Сурет 1 – Аралас сүт негізіндегі сүтқышқылды сусын дайындау технологиясы

Нәтижелер және талдау

Бие және сиыр сүті негізіндегі сүтқышқылды сусын (қымыз) дайындау үшін 10 үлгі алынып салыстырылды. Төмендегі 2-кестеде сүтқышқылды сусын әзірлеуде қолданылатын сүт шикізаттарының қатынасы көрсетілген.

Кесте 2 – Сүтқышқылды сусындарды әзірлеу рецептурасы

№	Сүттің түрі, %		Ұйытқы түрі	
	Бие сүті	Сиыр сүті	Дәстүрлі, %	Ацидофильді, %
0	Пастерленбеген 100%	-	5	5
1	Пастерленген 100%	-	5	5
2	Бие сүті 50%	Сиыр сүті 50%	5	5
3	Бие сүті 30%	Сиыр сүті 70%	5	5
4	-	Сиыр сүті 100%	5	5

2-кестеден көріп отырғанымыздай зерттеу нәтижелері мен талдау барысында келесі белгілеулер қолданылады: 0-пастерленбеген бие сүті, 1-пастерленген бие сүті, 2-тең қатынастағы 50%: 50% бие және сиыр сүті, 3- белгі бойынша 30%: 70%, 4-100% сиыр сүтінен әзірленген сүтқышқылды сусындар, барлық үлгілерге екі түрлі ұйытқы қосылды. Сүтті ұйыту уақыты мен алынған өнім сапасы қосылған сүттердің қатынасы мен ұйытқы түріне тәуелді екені анықталды. Бие сүтінің мөлшері жоғары болған үлгілерде ферментация процесі жылдам жүрді. Ацидофильді ұйытқы пайдаланған үлгілерде дәстүрлі ұйытқымен салыстырғанда pH көрсеткішінің төмендеуі жылдам болды. Төмендегі 3-кестеде ферментация процесіндегі pH мәнінің өзгеруі көрсетілген.

Кесте 3 – Ферментация процесінде pH мәндерінің өзгеру кестесі

Уақыт, сағ	0		1		2		3		4		Температура, °С
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
11:10	6,38	5,97	6,55	5,99	6,54	6,09	6,51	6,15	6,49	6,13	33
12:10	6,3	5,88	6,55	5,97	6,54	6,06	6,51	6,11	6,49	6,06	33,1
13:10	6,26	5,73	6,40	5,86	6,41	6,00	6,48	6,02	6,44	5,97	33,2
14:10	5,86	5,33	6,21	5,69	6,30	5,88	6,37	5,92	6,40	5,88	33
15:10	5,90	5,05	6,14	5,48	6,26	5,70	6,35	5,74	6,28	5,71	33,1
16:10	5,65	4,87	5,95	5,24	6,13	5,52	6,17	5,58	6,14	5,53	33,6
17:10	5,23	4,66	5,93	4,95	5,91	5,29	5,98	5,36	5,91	5,3	34
18:10	5,03	4,52	5,74	4,62	5,69	4,99	5,73	5,08	5,62	5,00	35
19:10	4,52	4,29	5,15	4,37	5,32	4,38	5,33	4,74	5,24	4,74	34,1
20:10	4,38	4,19	4,89	4,23	4,97	4,29	5,15	4,52	4,85	4,43	33,9
Салқын кейін 12:55	4,49	3,89	4,51	4,01	4,44	3,98	4,62	3,97	4,92	4,05	4

Тәжірибе өткізілген кезде аралас сүт қоспаларының ферментация процесінде әр сағат сайын pH мәні бақылауға алынды. Бастапқы сүт қоспаларының pH көрсеткіштері мынадай болды:

Тәжірибе басында pH бастапқы мәні бие сүтінде – 7,01, ал сиыр сүті -6,82 болды. Дәстүрлі ұйытқы үшін pH_{TS}=4,41 және ацидофилді ұйытқы үшін pH_{AS}=3,46 тең болды.

Ферментация кезінде келесі динамика байқалды:

– ферментацияның алғашқы кезеңінде (бастапқы 3 сағат ішінде) pH көрсеткіштері орташа 6,5–5,9 аралығында болды;

– 4-8 сағат арасында ферментацияның белсенді кезеңі байқалып, pH көрсеткіштері қарқынды төмендеп, 5,9–4,7 аралығына түсті;

– ферментация процесінің аяқталуы (8-ші сағат) орташа pH 4,50-4,70 мәндерінде тіркелді.

Қорытынды өлшеу кезінде 4,05-4,92 мәндері (соңғы тұрақты көрсеткіштер салқындатудан кейін) алынды. Ферментация процесінің тиімді аяқталу межесі ретінде pH 4,50-4,70 аралығы ұсынылады, бұл алынған тәжірибелік деректермен расталды.

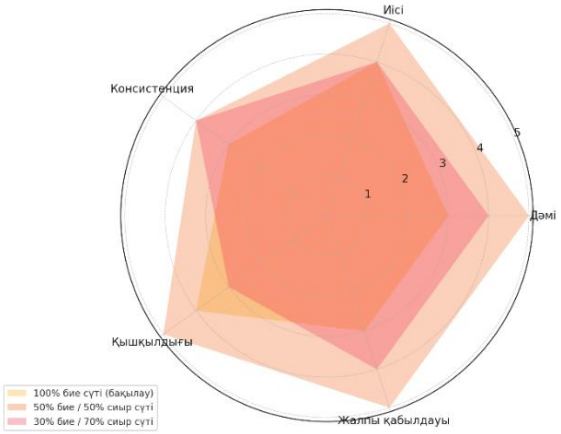
Алынған дайын өнімдердің органолептикалық қасиеттерін бағалау үшін дегустациялық талдау жүргізілді. Дегустацияға ферментация нәтижелері негізінде ең оңтайлы деп саналған келесі үлгілер таңдалды:

Бақылау үлгілері: пастерленбеген таза бие сүтінен жасалған өнімдер (100%), дәстүрлі және ацидофильді ұйытқылар қосылған (0-1, 0-2);

Аралас үлгілер: 50% бие сүті мен 50% сиыр сүті (2-1, 2-2), сондай-ақ 30% бие сүті мен 70% сиыр сүті (3-1, 3-2) қосылған өнімдер, екі түрлі ұйытқымен дайындалған.

Дегустация барысында осы үлгілердің дәмдік сапасы, консистенциясы және жалпы қабылдануы бағаланды. Бұл үлгілердің таңдалу себебі – олардың ферментация барысында pH мәндерінің қолайлы деңгейде тұрақтануы және өнім сапасының жоғары көрсеткіштері болды [8].

Органолептикалық бағалау нәтижесі бойынша ең жағымды дәм мен консистенция бар үлгі, 50% бие және 50% сиыр сүті қатынасындағы ацидофильді ұйытқымен алынған өнімде байқалды.



Сурет 2 – Дегустациялық бағалау көрсеткіштері

Зерттеу нәтижесінде оңтайлы деп танылған сүт өнімдерінің сапасын анықтау мақсатында «Алматы технологиялық университеті» АҚ ғылыми-зерттеу зертханасында микробиологиялық талдаулар жүргізілді. Талдау нәтижелері бойынша алынған мәліметтер 4-кестеде көрсетілген.

Кесте 4 – Сүтқышқылды сусынның құрамындағы микроағзалар саны

Үлгінің атауы	Сүтқышқылды микроорганизмдер саны, КТБ/см^3/(г)	Норма (КО ТР 033/2013)
Бақылау үлгісі (қымыз)	3×10^6	1×10^7
№ 2 үлгі 50%:50% (дәстүрлі ұйытқы)	$2{,}4\times10^6$	1×10^7
№ 2 үлгі 50%:50% (ацидофильді ұйытқы)	$3{,}6\times10^6$	1×10^7

Алынған нәтижелерден көріп отырғанымыздай бие сүті негізінде дайындалған қымыз бақылау үлгісі ретінде алынды. Сүтқышқылды сусындарды дәстүрлі ұйытқымен және ацидофильді ұйытқымен дайындау сүтқышқылды микрофлораның өсуі мен көбеюіне әсер етеді. Ацидофильді ұйытқы қосылып әзірленген аралас сүтқышқылды өнімдегі сүтқышқылды бактериялардың саны бақылау үлгілеріне қарағанда жоғары болды. Жүргізілген зертханалық сынақ нәтижелері бойынша барлық алынған үлгілер микробиологиялық көрсеткіштер бойынша белгіленген нормаларға (КО ТР 033/2013 «Сүт және сүт өнімдерінің қауіпсіздігі туралы») толық сәйкес келеді және тағам ретінде тұтынуға жарамды деп бағаланды [9, 10].

Ғылыми нәтижелерді талқылау

Жүргізілген зерттеулер барысында алынған нәтижелер бие сүті мен сиыр сүтінің араласуы ферментация процесіне оң әсер ететінін көрсетті. Әсіресе, ацидофильді ұйытқының қолданылуы ферментация процесін жеделдетіп, сүтқышқылды бактериялардың белсенді дамуына жағдай жасады. Нәтижесінде алынған өнімдердің pH көрсеткіштері тиімді деңгейде тұрақтады (4,50-4,70). Зертханалық микробиологиялық талдау нәтижелері алынған барлық өнімдердің белгіленген қауіпсіздік талаптарына сәйкес келетінін көрсетті. Органолептикалық көрсеткіштер бойынша ең жақсы нәтиже 50% бие және 50% сиыр сүті қатынасындағы ацидофильді ұйытқы қолданылған үлгіден байқалды. Бұл үлгінің дәмдік қасиеттері мен консистенциясы тұтынушылар тарапынан жоғары бағаға ие болды.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері бойынша бие мен сиыр сүттерінің 50:50 қатынасы және ацидофильді ұйытқы ферментация процесін оңтайландыруға және сапалы сүтқышқылды өнім алуға мүмкіндік беретіндігі дәлелденді. Осылайша бие сүті мен сиыр сүтінен ацидофильді ұйытқы қосылып дайындалған сүтқышқылды сусынның биологиялық және тағамдық құндылықтары жоғары болады, сонымен қатар жоғары микробиологиялық қауіпсіздігімен және жағымды органолептикалық сипаттамаларымен ерекшеленіп, сүт өнімдері нарығында жаңа функционалды өнімдерді шығаруға негіз бола алады.

Әдебиеттер тізімі

1. Кайшев В.Г. Состояние и перспективы развития рынка функциональных продуктов питания / В.Г. Кайшев, С.Н. Сергин // Переработка молока. – 2018. – № 2. – С. 64-67.
2. Скворцова Н.Н. Биотехнология кисломолочных продуктов / Н.Н. Скворцова, Ю.Ф. Якуба. – Москва: КолосС, 2015. – 256 с.
3. ГОСТ 31449-2013. Продукты молочные кисломолочные. Общие технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 26 с.
4. ГОСТ 31449-2013. Межгосударственный стандарт. Молоко сырое. Технические условия. –М.: Изд-во Стандартинформ, 2013. – 8 с.
5. Рахимжанов К.К. Қазақтың ұлттық қышқылсүт өнімдерінің микрофлорасы және олардың тағамдық құндылығы / К.К. Рахимжанов, А.Б. Көшербаева, Ш.А. Абдуллаева // Известия НАН РК. Серия биологическая и медицинская. – 2018. – № 4. – С. 25-30.
6. Кон И.Я. Детское и функциональное питание: теория и практика / И.Я. Кон, М.К. Шиганова. – Москва: ДеЛи принт, 2007. – 352 с.
7. Сеитов З.С. Сүт және сүт өнімдері технологиясы. – Астана: Фолиант, 2010. – 480 б.
8. Сүлейменова Р.Ж. Бие сүтінің емдік қасиеттері мен биохимиялық құрамы / Р.Ж. Сүлейменова, А.Е. Дайырбекова // Қазақ Ұлттық Аграрлық Университетінің Хабаршысы; 2017. – № 3(37). – Б. 122-127.
9. Фомин И.А. Лабораторный практикум по технологии молока и молочных продуктов / И.А. Фомин, Ю.Г. Никифоров. – Москва: КолосС, 2012. – 416 с.
10. ГОСТ 32892-2014. Продукты молочные. Методы микробиологического анализа. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 43 с.

References

1. Kaishev V.G. Sostoyanie i perspektivy razvitiya rynka funktsional'nykh produktov pitaniya / V.G. Kaishev, S.N. Sergin // Pererabotka moloka. – 2018. – № 2. – S. 64-67. (In Russian).
2. Skvortsova N.N. Biotekhnologiya kislomolochnykh produktov / N.N. Skvortsova, YU.F. Yakuba. – Moskva: KoloSS, 2015. – 256 s. (In Russian).
3. GOST 31449-2013. Produkty molochnye kislomolochnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya. – Moskva: Standartinform, 2014. – 26 s. (In Russian).
4. GOST 31449-2013. Mezhgosudarstvennyi standart. Moloko syroe. Tekhnicheskie usloviya. – M.: Izd-vo Standartinform, 2013. – 8 s. (In Russian).
5. Rakhimzhanov K.K. Қazaқtyң ұlttyқ қyshқylsүt өnimderinің mikroflorasy zhәne olardyң taғamdyқ құndylyғy / K.K. Rakhimzhanov, A.B. Kөsherbaeva, SH.A. Abdullaeva // Izvestiya NAN RK. Seriya biologicheskaya i meditsinskaya. – 2018. – № 4. – S. 25-30. (In Kazakh).
6. Kon I.YA. Detskoe i funktsional'noe pitanie: teoriya i praktika / I.YA. Kon, M.K. Shiganova. – Moskva: DELi print, 2007. – 352 s. (In Russian).
7. Seitov Z.S. Sүt zhәne sүt өnimderi tekhnologiyasy. – Astana: Foliant, 2010. – 480 b. (In Kazakh).
8. Sүleimenova R.ZH. Bie sүtinің emdik қasietteri men biokhimiyalyқ құramy / R.ZH. Sүleimenova, A.E. Daiyrbekova // Қazaқ Ұlttyқ Agrarlyқ Universitetinің Khabarshysy; 2017. – № 3(37). – B. 122-127. (In Kazakh).
9. Fomin I.A. Laboratornyi praktikum po tekhnologii moloka i molochnykh produktov / I.A. Fomin, YU.G. Nikiforov. – Moskva: KoloSS, 2012. – 416 s. (In Russian).
10. GOST 32892-2014. Produkty molochnye. Metody mikrobiologicheskogo analiza. – Moskva: Standartinform, 2015. – 43 s. (In Russian).

Б. Калемшарив[1,2], А.Д. Ибраева[1], А.К. Игенбаев[1], А.К. Мустафаева[*], Г.Б. Абдилова[3]

[1]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,
010011, Казахстан, г. Астана, пр. Победы 62

[2]Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова,
720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек

[3]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

*e-mail: ayaulym.mustafa@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ МОЛОЧНОКИСЛЫХ НАПИТКОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАДИЦИОННЫХ И АЦИДОФИЛЬНЫХ ЗАКВАСОК

В настоящее время в связи с изменением образа жизни людей и воздействием окружающей среды на организм меняются и требования к рациону питания. Для этого расширение ассортимента молочнокислых продуктов на основе использования смешанных молочных продуктов, разработка высококачественной продукции является важным направлением развития пищевой промышленности. Предлагаемая статья посвящена приготовлению молочнокислого напитка на основе различных соотношений кобыльего и коровьего молока. В ходе проведения исследования было выявлено влияние кобыльего молока и коровьего молока и различных заквасок (традиционных и ацидофильных) на процесс ферментации, физико-химические, микробиологические и органолептические показатели продукции. В результате проведения эксперимента были изготовлены и проанализированы результаты различных видов молочнокислых напитков (кобыльее молоко – 100%, коровье молоко – 100%, а также в соотношении 70:30, 50:50, 30:70). По результатам проведенных исследований, кисломолочная продукция, приготовленная из ацидофильной закваски и добавленная в соотношении 50% кобыльего и коровьего молока, показала лучшие результаты по органолептическим, микробиологическим и физико-химическим показателям. Также было доказано, что кисломолочный напиток, приготовленный из смешанного молока, имеет высокую безопасность и пищевую ценность, все показатели соответствуют требованиям и рекомендовано использовать данный продукт в качестве рекомендуемой продукции с целью функционального питания. Напиток функционального назначения очень полезен для организма и способствует регулированию работы организма.

Ключевые слова: *кобыльее молоко, коровье молоко, ферментация, ацидофильная закваска, функциональные продукты.*

B. Kalemshariv[1,2], A.D. Ibraeva[1], A. Igenbaev[1], A.K. Mustafaeva[1]*, G. Abdilova[3]
[1]Kazakh Agrotechnical Research University named after Saken Seifullin,
010011, Kazakhstan, Astana, 62 Pobedy Ave
[2]Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov,
720044, Kyrgyz Republic, Bishkek
[3]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A, Glinki str.
*e-mail: ayaulym.mustafa@mail.ru

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF PREPARING LACTIC ACID DRINKS USING TRADITIONAL AND ACIDOPHILIC STARTERS

Currently, due to changes in the lifestyle of people and the impact of the environment on the body, the requirements for the diet are also changing. To this end, expanding the range of lactic acid products based on the use of mixed dairy products, the development of high-quality products is an important direction in the development of the food industry. The proposed article is devoted to the preparation of a lactic acid drink based on various ratios of mare and cow's milk. The study revealed the effect of mare's milk and cow's milk and various starters (traditional and acidophilic) on the fermentation process, physicochemical, microbiological and organoleptic indicators of the products. As a result of the experiment, the results of various types of lactic acid drinks (mare's milk – 100%, cow's milk – 100%, as well as in the ratio of 70:30, 50:50, 30:70) were made and analyzed. According to the results of the studies, fermented milk products prepared from acidophilic starter and added in a ratio of 50% mare's and cow's milk showed the best results in organoleptic, microbiological and physicochemical indicators. It was also proved that a fermented milk drink made from mixed milk has high safety and nutritional value, all indicators meet the requirements and it is recommended to use this product as a recommended product for the purpose of functional nutrition. A functional drink is very useful for the body and contributes to the regulation of the body.

Key words: *mare's milk, cow's milk, fermentation, acidophilic starter, functional products.*

Авторлар туралы мәлімет

Бегжан Калемшарив – «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының оқытушысы; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы; И. Раззаков атындағы Қырғыз мемлекеттік техникалық университеті, Қырғыз Республикасы, Бішкек қаласы; e-mail: begjan.ae@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-00028036-9718.

Асемай Дәуренқызы Ибраева – С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің 7М07201 – «Тамақ өнімдерінің технологиясы» білім бағдарламасының 2 курс магистранты, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: zhamburshieva@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-4608-2529.

Айдын Кайырбекович Игенбаев – PhD доктор, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» ассоциированный профессор кафедры; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail:maigul_85@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5904-9544.

Аяулым Какеновна Мустафаева – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: ayaulym.mustafa@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9627-7543.

Галия Бекеновна Абдилова – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, тамақ инженериясы зерттеу мектебі, Шәкәрім университеті, Семей, Қазақстан Республикасы; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002- 6647-6314.

Сведения об авторах

Бегжан Калемшарив – преподаватель кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан; Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, г. Бишкек e-mail: begjan.ae@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-00028036-9718.

Асемай Дауренқызы Ибраева – магистрант 2-го курса образовательной программы 7М07201 – «Технология пищевых продуктов», Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, город Астана, Республика Казахстан; e-mail: zhamburshieva@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-4608-2529.

Айдын Кайырбекович Игенбаев – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан; e-mail:maigul_85@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5904-9544.

Аяулым Какеновна Мустафаева – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств»; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: ayaulym.mustafa@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9627-7543.

Галия Бекеновна Абдилова – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, исследовательская школа пищевой инженерии, Университет Шакарима, Семей, Республика Казахстан; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6647- 6314.

Information about the authors

Begzhan Kalemshariv – Lecturer of the Department of Food Technology and Processing Products; Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan; Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov; e-mail: begjan.ae@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-00028036-9718.

Assemay Ibrayeva – 2nd year master student of the educational program 7M07201 – «Technology of Food Products», «S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana, Kazakhstan; e-mail: zhamburshieva@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-4608-2529.

Aydin Igenbaev – PhD, Senior Lecturer at the Department of Food Technology and Processing Products; Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan; e-mail: maigul_85@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5904-9544.

Ayaulym Mustafayeva – candidate of Technical Sciences, Senior lecturer of the Department «Technology of Food and Processing Industries», Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana city, Republic of Kazakhstan; e-mail: ayaulym.mustafa@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9627-7543.

Galiya Abdilova – candidate of technical sciences, associate professor, research school of food engineering, Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6647-6314.

Редакцияға енуі 09.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 11.08.2025
Жариялауға қабылданды 22.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-25

CC BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 65.59.03

А.К. Суйчинов, Ж.С. Есимбеков, Г.А. Капашева*, Г.Е. Жүзжасарова
Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности»,
071410, Казахстан, Семей, ул. Байтурсынова 29
*e-mail: gena.89.89@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОВЯЖЬИХ, КОНСКИХ И БАРАНЬИХ СУБПРОДУКТОВЫХ ПАСТ

Аннотация: *В статье представлено исследование влияния соотношения разных видов субпродуктов (сердце, печень, рубец) на физико-химические свойства субпродуктовой пасты, изготовленной из говяжьих, бараньих и конских субпродуктов. Целью работы было определить закономерности изменения pH, активности воды (a_w) и влагосвязывающей способности (ВСС) в зависимости от долевого содержания каждого вида субпродукта. Субпродуктовая паста готовилась посредством двухэтапного измельчения и предварительной обработки рубца. Были разработаны четыре рецептурных варианта с различными пропорциями сердца, печени и рубца. В говяжьей субпродуктовой пасте увеличение доли рубца приводило к снижению pH до 4,65 и повышению ВСС до 60,4%, тогда как в бараньей пасте pH изменялся лишь в узком диапазоне от 6,23 до 6,36, а в конской – от 5,28 до 5,65. Наибольшие значения активности воды зарегистрированы в говяжьей субпродуктовой пасте, a_w достигало 0,9904 в вариантах 3 и 4, тогда как минимальные показатели наблюдались в бараньей субпродуктовой пасте, активность воды снижалась до 0,9576 в варианте 2. Конская субпродуктовая паста характеризуется промежуточными значениями a_w в диапазоне 0,9838 – 0,9857. Таким образом, для говяжьей субпродуктовой пасты оптимален вариант 4, для бараньей – вариант 2, а для конской – вариант 3. Результаты демонстрируют перспективы управления технологическими показателями субпродуктовых изделий путём оптимизации состава. Этот подход способствует расширению ассортимента функциональных продуктов и снижению пищевых отходов.*

Ключевые слова: *субпродукты, активность воды, pH, влагосвязывающая способность, паста, рубец, печень, сердце.*

Введение

В современных условиях объёмы побочного сырья при убое животных достигают до 40 % от массы туши, что создаёт значительный резерв для пищевой отрасли [1]. Рациональное использование мясных субпродуктов – сердца, печени, рубца и других – позволяет не только расширить ассортимент колбасных и консервированных изделий за счёт недорогого сырья, но и эффективно задействовать источники высококачественного белка, макро- и микроэлементов, витаминов группы В и А. По химическому составу субпродукты 2-й категории содержат до 20% белка и обладают полноценным аминокислотным профилем, что делает их ценным компонентом мясных смесей. Субпродукты являются богатым источником полноценного белка, витаминов группы В, микро- и макроэлементов, таких как железо, цинк, медь и фосфор, что делает их ценным компонентом в рецептурах мясных изделий. Несмотря на это, степень их использования в пищевой промышленности остаётся ограниченной, что обусловливает необходимость дальнейших исследований и разработки эффективных способов переработки и применения субпродуктов в производстве функциональных мясных продуктов [2, 3].

Морфологическая и химическая неоднородность побочного сырья диктует необходимость разработки современных технологий глубокой переработки – ультразвуковой, ферментной или микробиологической модификации – для оптимизации функционально-технологических свойств паст, эмульсий и других продуктов [4, 5].

Использование субпродуктов в технологии мясных продуктов представляет собой перспективное направление, сочетающее экономическую целесообразность с обеспечением высокой пищевой и биологической ценности готовой продукции. Рациональное вовлечение субпродуктов в переработку позволяет эффективно использовать все части животного сырья, снижая уровень отходов и тем самым повышая ресурсную и экологическую устойчивость

мясоперерабатывающих предприятий [6, 7]. Использование говяжьих субпродуктов, растительных добавок и культур, а также современных методов переработки улучшает пищевые и экономические свойства продукта и позволяет применять его в лечебно-профилактическом питании [8, 9].

Технологически обоснованное добавление субпродуктов способствует улучшению функциональных свойств фарша, таких как влагосвязывающая способность, структурная стабильность и органолептические характеристики [10]. Использование вторичного сырья субпродуктов, крови, костей, жира и сыворотки – играет большую роль. Сочетая конину с такими белковыми добавками, можно не только расширить ассортимент доступных мясных изделий, но и повысить их пищевую ценность [11]. Это особенно актуально при создании функциональных и диетических мясных изделий, ориентированных на современные требования потребителей к качеству, безопасности и биологической полноценности пищи. Введение субпродуктов в состав мясных продуктов не только позволяет оптимизировать себестоимость за счёт использования более доступных по цене компонентов, но и способствует расширению ассортимента продукции за счёт создания оригинальных рецептур с улучшенными питательными и сенсорными свойствами [12, 13]. Таким образом, интеграция субпродуктов в современные технологии мясопереработки обеспечивает научно обоснованную платформу для производства доступных, безопасных и функционально обогащённых продуктов, отвечающих потребностям как массового, так и специализированного питания.

Целью данной работы является изучение влияния разных пропорций сердца, печени и рубца в субпродуктовой пасте на pH, активность воды и влагосвязывающую способность.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования являются субпродуктовые пасты, приготовленные из говяжьих, конских и бараньих субпродуктов (сердце, печень, рубец) по четырём рецептурным вариантам для каждого типа продукции.

Закупка мясного сырья осуществлялась в мясных павильонах города Семей. Материал отбирали в период от трёх до четырёх часов после убоя животных. Транспортировка образцов в лабораторию производилась в переносном холодильнике, что обеспечивало поддержание температурного режима в диапазоне от +2 °C до +4 °C. Исследования начинали немедленно по доставке сырья.

Процесс получения тонкоизмельченного фарша из субпродуктов

Предварительная обработка субпродуктов проводилась следующим образом: субпродукты были очищены от посторонних тканей и тщательно промыты. Рубец выдерживали в 3% растворе уксусной кислоты в соотношении 1:1 в течение 24 часов при температуре +2°C. Сердце, печень, рубец измельчали на мясорубке МИМ-300 с диаметром решетки 3 мм. После первого этапа смешивания фаршей, следующий шаг это вторичное измельчение полученной массы для достижения необходимой степени однородности. Для этого используется коллоидная мельница (JMS 80, Pasen Machinery Co., Китай), которая обладает высокой эффективностью в процессе тонкого измельчения. Коллоидная мельница оснащена режущими ножами, между которыми устанавливается минимальный зазор – 1 мм. Это позволяет максимально эффективно измельчить смесь, превращая её в однородную пастообразную массу.

Для приготовления субпродуктовых паст были подготовлены 4 варианта с разными рецептурами. В таблице 1 представлены разные варианты рецептуры.

Таблица 1 – Варианты рецептуры субпродуктовых паст, %

Субпродукт	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Сердце	35	50	25	25
Печень	35	25	50	25
Рубец	30	25	25	50

Определение активности воды

Определение активности воды (aw) – с использованием прибора LabTouch-aw (Италия) [14].

Определение pH. Активную кислотность среды (pH) определяли потенциометрическим методом на приборе pH-метр-Seven2Go™, погружением электрода в раствор с фиксацией значения pH на шкале прибора. Раствор (водную вытяжку) готовили из измельченного

продукта с водой (в соотношении 1:10). pH измеряли после настаивания в течение 30 минут при температуре 20^{0}C [15].

Определение влагосвязывающей способности мяса. Содержание связанной воды определяли по методу Р. Грау и Р. Хамма в модификации ВНИИМП. Метод основан на выделении испытуемым образцом при легком его прессовании воды и определении ее количества по размеру площади пятна, оставляемого ею на фильтровальной бумаге [16].

Статистический анализ

Обработку результатов измерений осуществляли с помощью программы Microsoft Excel 2016. Результаты анализов были статистически значимы при $p \leq 0,05$. Данные представлены как среднет значение ± стандартное отклонение.

Результаты и их обсуждение

Исследование активности воды

Активность воды измеряет количество несвязанной воды для биологических и химических процессов. Данный показатель определяет степень доступности воды для микробиологических и химических процессов [17, 18]. Результаты измерения активности воды приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерения активности воды в говяжьих, конских и бараньих субпродуктовых пастах.

№ варианта	Говяжья субпродуктовая паста		Конская субпродуктовая паста		Баранья субпродуктовая паста	
	Температура, °C	Активность воды	Температура, °C	Активность воды	Температура, °C	Активность воды
1	25	0,9864	25,06	0,9841	25	0,9815
2	25	0,9896	25,04	0,9844	25,05	0,9576
3	25	0,9904	25,09	0,9857	24,99	0,9744
4	25	0,9904	25,02	0,9838	24,97	0,9791

Высокий показатель активности воды в бараньей субпродуктовой пасте был зафиксирован в варианте 1 – 0,9815, тогда как наименьшее значение отмечено во втором варианте. Наивысшие показатели отмечены в пастах из говяжьих субпродуктов (варианты 3 и 4 – 0,9904), что указывает на наличие большого количества свободной воды. Это может способствовать ускоренному микробиологическому росту, что требует особого внимания при выборе условий хранения. В пастах из бараньих и конских субпродуктов наблюдались более низкие значения активности воды (a_w), что потенциально способствует увеличению срока хранения продукции.

Исследование концентрации водородных ионов (pH)

В ходе исследования определены показатели pH и температуры различных вариантов субпродуктовых паст. Данные приведены на рисунке 1.

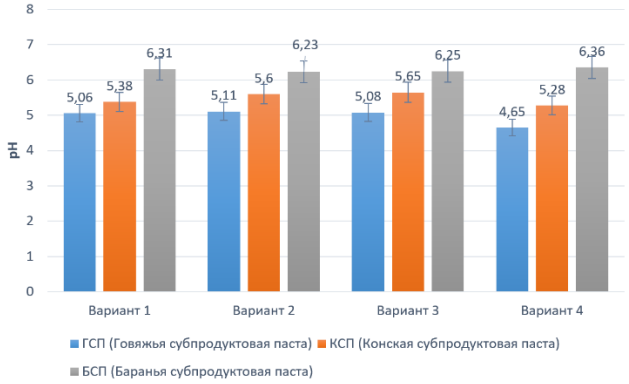


Рисунок 1 – Концентрация ионов водорода (pH) в субпродуктовых пастах

Уровень pH говяжьей субпродуктовой пасты составляет 4,65-5,11, что указывает на более выраженную кислотность по сравнению с бараньей субпродуктовой пасты. Конская субпродуктовая паста имеет средние значения pH в диапазоне 5,28-5,65, что соответствует

слабокислой среде. Анализ pH показал, что уровень кислотности бараньей субпродуктовой пасты во всех вариантах рецептуры остается в пределах 6,23-6,36, что свидетельствует о слабощелочной среде. Уровень кислотности влияет на текстуру, вкус и устойчивость к микрофлоре, поэтому данные различия важно учитывать при производстве.

Исследование влагосвязывающей способности

Влагосвязывающая способность (ВСС) характеризует свойство поглощать и удерживать влагу даже при воздействии внешних сил [19]. На рисунке 2 представлены результаты исследования влагосвязывающей способности субпродуктовых паст.

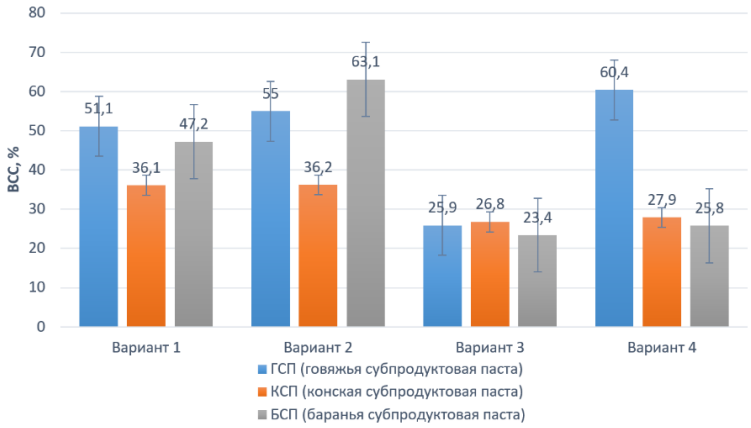


Рисунок 2 – Влагосвязывающая способность разных вариантов субпродуктовых паст

Влагосвязывающая способность субпродуктовых паст демонстрирует чёткую зависимость от рецептурного соотношения и вида сырья. Так, в говяжьей субпродуктовой пасте вариант 1 обеспечивал ВСС на уровне 51,1%. При увеличении доли сердца до 50% влагосвязывание выросло до 55,0%, что связано с высокой гидрофильностью миофибриллярных белков сердечной ткани. Напротив, повышение содержания печени до 50% привело к резкому падению ВСС до 25,9%, поскольку печень обладает более высоким содержанием липидов и меньшим объёмом структурных белков, отвечающих за удержание влаги [20]. Максимальную влагосвязывающую способность (60,4%) показал рецепт с преобладанием рубца, обработанного кислотно-ультразвуковым методом, что обусловлено разрушением коллагеновых волокон и образованием водосвязывающего геля.

В бараньей субпродуктовой пасте вариант 1 (сердце 35%, печень 35%, рубец 30%) обеспечивал ВСС на уровне 47,2%. При увеличении доли сердца до 50% (вариант 2) влагосвязывание возросло до 63,1%. Преобладание печёночной фракции (вариант 3) привело к снижению ВСС до 23,4%. Увеличение доли рубца (вариант 4) слегка повысило ВСС до 25,8%. Конская субпродуктовая паста изначально обладала самой низкой влагосвязывающей способностью (36,1%), при этом увеличение сердца практически не изменило этот показатель (36,2 %), а преобладание печени снизило ВСС до 26,8%. Рубец в конском сырье после обработки слегка повысил ВСС до 27,9%.

Сравнительный анализ результатов показывает, что наибольший прирост ВСС достигается за счёт увеличения доли сердца в говяжьей и бараньей субпродуктовых пастах, тогда как печень во всех трёх типах субпродуктов стабильно снижает влагосвязывающую способность. Рубец после кислотно-ультразвуковой обработки даёт значительный эффект только в говяжьих пастах, тогда как в бараньих и особенно в конских субпродуктовых пастах эффект незначителен. Эти данные позволяют направленно корректировать рецептуру в зависимости от требуемых технологических свойств мясных изделий.

Обсуждение научных результатов

Полученные результаты позволяют сделать вывод о значительном влиянии вида субпродукта на физико-химические свойства субпродуктовых паст. Показатели активности воды, pH и влагосвязывающей способности (ВСС) варьировались в зависимости от рецептурного состава и вида субпродуктов.

Наибольшие значения активности воды были зафиксированы в пастах из говяжьих субпродуктов (0,9904), что указывает на наличие большего количества свободной воды. С одной стороны, это обеспечивает нежную текстуру продукта, однако с другой – требует

строгого соблюдения условий хранения во избежание микробиологической порчи. В то же время более низкие значения активности воды в пастах из конских и бараньих субпродуктов (до 0,9576) свидетельствуют о потенциально более длительном сроке хранения за счёт меньшей воды.

Результаты измерения pH подтвердили, что пасты из говяжьих субпродуктов характеризуются большей кислотностью, особенно во 2 и 3 вариантах (4,65-4,66). Это может быть связано с особенностями биохимического состава печени и рубца, входящих в рецептуру. Пасты из бараньих субпродуктов продемонстрировали значения pH в пределах 6,23-6,36, соответствующие слабощелочной среде, что влияет на вкус, устойчивость к микрофлоре и технологические параметры продукта.

Анализ влагосвязывающей способности показал, что наибольшую ВСС продемонстрировали пасты из говяжьих субпродуктов (до 60,4%) и пасты из бараньих субпродуктов (до 63,1%) во 2 варианте рецептуры. Это подтверждает важность использования мышечной ткани (сердца) для достижения желаемой консистенции и удержания влаги. Низкие значения ВСС были зафиксированы в вариантах с преобладанием печени (до 23,4%), что обусловлено её неспособностью эффективно связывать воду.

Таким образом, оптимальные технологические свойства были достигнуты при использовании рецептур с преобладанием сердечной ткани и сбалансированным содержанием печени и рубца. Эти данные могут быть использованы при разработке функциональных мясных продуктов с улучшенными характеристиками хранения, текстуры и пищевой ценности.

Заключение

Проведённое исследование показало, что вид субпродукта оказывает значительное влияние на физико-химические свойства субпродуктовых паст. Наибольшую активность воды и влагосвязывающую способность продемонстрировали пасты из говяжьих субпродуктов, тогда как пасты из бараньих субпродуктов отличались более нейтральной средой по pH. Паста из конских субпродуктов заняла промежуточное положение по большинству показателей. Учитывая результаты проведённого эксперимента и рецептурный состав, наибольшее преимущество показал вариант № 2. Этот вариант является наиболее эффективным, так как содержит высокую долю сердца (50%) – мышечной ткани, хорошо удерживающей влагу. Печень и рубец добавлены в равных количествах (по 25%), что придаёт продукту вкус и мягкость. Такое сочетание ингредиентов положительно сказывается на влагосвязывающей способности, текстуре и сочности пасты. Полученные данные могут быть использованы при разработке рецептур пастообразных мясных продуктов.

Список литературы

1. Насонова В.В. Перспективные пути использования субпродуктов // Теория и практика переработки мяса. – 2018. – № 3(3) – С. 64-73.
2. Ковалева О.А. Субпродукты сельскохозяйственных животных как сырье для новых видов консервов функционального назначения / О.А. Ковалева, Л.В. Шульгина // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – № 38. – С. 100-104.
3. Irshad A. Abattoir By Product Utilization for Sustainable Meat Industry: A Review / A.I rshad, B.D. Sharma // Journal of Animal Production Advances. – 2015. - № 5(6). – P. 681-696.
4. Jayathilakan K.et al. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: A review // J. Food Sci. Technol. – 2012. – № 49. – P. 278-293.
5. Узаков Я.М. и др. Инновационные подходы к переработке субпродуктов: Биотехнологические решения для устойчивого производства // In The World Of Science and Education. – 2024. – С. 9-14.
6. Алибеков Р.С. и др. Исследование новых рубленных полуфабрикатов из субпродуктов // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 2(14). – С. 105-113. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-14.
7. Суйчинов А.К. и др. Физико-химические показатели мяса курицы и утки и их субпродуктов // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2025. – № 1(17). – С. 179-186. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1(17)-23.
8. Макангали К.К. и др. Мясорастительный паштет на основе субпродуктов // Science and world. – 2014. – № 12(16). – С. 51-53.

9. Машанова Н.С. Получение белкового гидролизата из вторичного мясного сырья для обогащения продуктов питания // Вестник Алматинского технологического университета. – 2023. – Т. 1, № 3. – С. 131-138.
10. Ходорева О.Г. Структурно-механические и функционально-технологические свойства субпродуктов говяжьих / О.Г. Ходорева, К.А. Марченко, С.А. Гордынец // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. – 2022. – № 17. – С. 246-254. https://meatmilk.belal.by/jour/article/view/444.
11. Кабулов Б.Б. и др. Использование вторичного мясного сырья в технологии комбинированных мясных продуктов // Молодежь и XXI век-2015. – 2015. – С. 187-190.
12. Shirsath A. Bovine and ovine meat co-products valorisation opportunities: A systematic literature review / A. Shirsath, M. Henchion // Trends in Food Science and Technology. – 2021. – Vol.118. – P. 57-70. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.015.
13. F. Toldrá et al. Innovations in value-addition of edible meat by-products // Meat science. – 2012. – № 92. – P. 290-296. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.004.
14. ГОСТ ISO 21807-2015. Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды. – Введ. 2017-07-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 3 с.
15. СТ РК ИСО 2917-2009. Мясо и мясные продукты. Определение pH. Контрольный метод. – Введ. 2010-07-01. – Астана: Госстандарт Республики Казахстан, 2010. – 16 с.
16. Пат. KZ28152 Республика Казахстан, МПК G01N 33/02 Способ определения водосвязывающей способности пищевых продуктов / Б.Б. Кабулов, А.К. Какимов, Ж.С. Есимбеков, Н.К. Ибрагимов; опубл. 17.02.2014, бюл. № 2.
17. Кудряшов Л.С. Оценка качества мясного сырья / Л.С. Кудряшов // Мясная индустрия. – 2010. – № 4. – С. 11-14.
18. Puolanne E. Theoretical aspects of water-holding in meat / E. Puolanne, M. Halonen // Meat science. – 2010. – № 86(1). – С. 151-65. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.038.
19. Okuskhanova E. et al. Study of water binding capacity, pH, chemical composition and microstructure of livestock meat and poultry // Annual Research & Review in Biology. – 2017. – № 3(14) – P. 34413-34413.
20. Гавриш Е.В. Сравнительная характеристика пищевой и биологической ценности говяжьих и свиных субпродуктов первой категории // Вестник современных исследований. – 2018. – № 12(14). – С. 68-74.

References

1. Nasonova V.V. Perspektivnye puti ispol'zovaniya subproduktov // Teoriya i praktika pererabotki myasa. – 2018. – № 3(3) – S. 64-73. (In Russian).
2. Kovaleva O.A. Subprodukty sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh kak syr'e dlya novykh vidov konservov funktsional'nogo naznacheniya / O.A. Kovaleva, L.V. Shul'gina // Tekhnicheskie nauki ot teorii k praktike. – 2014. – № 38. – S. 100-104. (In Russian).
3. Irshad A. Abattoir By Product Utilization for Sustainable Meat Industry: A Review / A.I rshad, B.D. Sharma // Journal of Animal Production Advances. – 2015. - № 5(6). – R. 681-696. (In English).
4. Jayathilakan K. et al. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: A review // J. Food Sci. Technol. – 2012. – № 49. – R. 278-293.
5. Uzakov YA.M. i dr. Innovatsionnye podkhody k pererabotke subproduktov: Biotekhnologicheskie resheniya dlya ustoichivogo proizvodstva // In The World Of Science and Education. – 2024. – S. 9-14. (In Russian).
6. Alibekov R.S. i dr.Issledovanie novykh rublennykh polufabrikatov iz subproduktov // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 2(14). – S. 105-113. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-14. (In Russian).
7. Suichinov A.K. i dr. Fiziko-khimicheskie pokazateli myasa kuritsy i utki i ikh subproduktov // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2025. – № 1(17). – S. 179-186. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1(17)-23. (In Russian).
8. Makangali K.K. i dr. Myasorastitel'nyi pashtet na osnove subproduktov // Science and world. – 2014. – № 12(16). – S. 51-53. (In Russian).
9. Mashanova N.S. Poluchenie belkovogo gidrolizata iz vtorichnogo myasnogo syr'ya dlya obogashcheniya produktov pitaniya // Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2023. – T. 1, № 3. – S. 131-138. (In Russian).

10. Khodoreva O.G. Strukturno-mekhanicheskie i funktsional'no-tekhnologicheskie svoistva subproduktov govyazh'ikh / O.G. Khodoreva, K.A. Marchenko, S.A. Gordynets // Aktual'nye voprosy pererabotki myasnogo i molochnogo syr'ya. – 2022. – № 17. – S. 246-254. https://meatmilk.belal.by/jour/article/view/444. (In Russian).
11. Kabulov B.B. i dr. Ispol'zovanie vtorichnogo myasnogo syr'ya v tekhnologii kombinirovannykh myasnykh produktov // Molodezh' i XXI vek-2015. – 2015. – S. 187-190. (In Russian).
12. Shirsath A. Bovine and ovine meat co-products valorisation opportunities: A systematic literature review / A. Shirsath, M. Henchion // Trends in Food Science and Technology. – 2021. – Vol.118. – P. 57-70. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.015. (In English).
13. Toldrá F. et al. Innovations in value-addition of edible meat by-products // Meat science. – 2012. – № 92. – R. 290-296. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.004. (In English).
14. GOST ISO 21807-2015. Mikrobiologiya pishchevoi produktsii i kormov. Opredelenie aktivnosti vody. – Vved. 2017-07-01. – M.: Standartinform, 2016. – 3 s. (In Russian).
15. ST RK ISO 2917-2009. Myaso i myasnye produkty. Opredelenie RN. Kontrol'nyi metod. – Vved. 2010-07-01. – Astana: Gosstandart Respubliki Kazakhstan, 2010. – 16 s. (In Russian).
16. Pat. KZ28152 Respublika Kazakhstan, MPK G01N 33/02 Cposob opredeleniya vodosvyazyvayushchei sposobnosti pishchevykh produktov / B.B. Kabulov, A.K. Kakimov, ZH.S. Esimbekov, N.K. Ibragimov; opubl. 17.02.2014, byul. № 2. (In Russian).
17. Kudryashov L.S. Otsenka kachestva myasnogo syr'ya // Myasnaya industriya. – 2010. – № 4. – S. 11-14. (In Russian).
18. Puolanne E. Theoretical aspects of water-holding in meat / E. Puolanne, M. Halonen // Meat science. – 2010. – № 86(1). – S. 151-65. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.038. (In English).
19. Okuskhanova E. et al. Study of water binding capacity, pH, chemical composition and microstructure of livestock meat and poultry // Annual Research & Review in Biology. – 2017. – № 3(14) – R. 34413-34413. (In English).
20. Gavrish E.V. Sravnitel'naya kharakteristika pishchevoi i biologicheskoi tsennosti govyazh'ikh i svinykh subproduktov pervoi kategorii // Vestnik sovremennykh issledovanii. – 2018. – № 12(14). – S. 68-74. (In Russian).

Материалы подготовлены в рамках научно-технической программы BR24892775 Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан на 2024-2026 годы.

А.К. Суйчинов, Ж.С. Есимбеков, Г.А. Капашева*, Г.Е. Жүзжасарова
[1]Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми зерттеу институты (Семей филиалы),
071410, Қазақстан Республикасы, Семей қ, Байтұрсынова 29 к-сі
*e-mail: gena.89.89@mail.ru

СИЫР, ЖЫЛҚЫ ЖӘНЕ ҚОЙ СУБӨНІМДЕРІНЕН ДАЙЫНДАЛҒАН ПАСТАЛАРДЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада сиыр, қой және жылқы субөнімдерінен дайындалған субөнім пастасының физика-химиялық қасиеттеріне жүрек, бауыр және қарынның әртүрлі қатынасының әсері зерттелді. Зерттеудің мақсаты – әрбір субөнім түрінің үлестік мөлшеріне байланысты pH, су белсенділігі (aw) және ылғал байланыстыру қабілетінің (ЫБҚ) өзгеру заңдылықтарын анықтау. Субөнім пастасы екі сатылы ұсақтау және қарынды алдын ала өңдеу арқылы дайындалды. Жүрек, бауыр және қарынның әртүрлі пропорцияларымен төрт рецептуралық нұсқа әзірленді. Сиыр субөнім пастасында қарын үлесінің артуы pH-тың 4,65-ке дейін төмендеуіне және ЫБҚ-ның 60,4%-ға дейін артуына әкелді. Қой пастасында pH тек 6,23–6,36 аралығында өзгерді. Жылқы пастасында pH 5,28–5,65 аралығында болды. Су белсенділігінің ең жоғары мәндері сиыр субөнім пастасында тіркелді, мұнда aw 0,9904-ке дейін жетті (3 және 4-нұсқалар). Ең төменгі көрсеткіштер қой пастасында байқалды, aw 0,9576-ға дейін төмендеді (2-нұсқа). Жылқы пастасы aw мәндері бойынша аралық көрсеткіштерге ие болды – 0,9838-0,9857. Осылайша, сиыр субөнім пастасы үшін 4-нұсқа, қой пастасы үшін 2-нұсқа, ал жылқы пастасы үшін 3-нұсқа оңтайлы болып табылады. Зерттеу нәтижелері субөнім өнімдерінің технологиялық көрсеткіштерін құрамын оңтайландыру арқылы басқару мүмкіндігін көрсетеді. Бұл тәсіл функционалды өнімдер ассортиментін кеңейтуге және азық-түлік қалдықтарын азайтуға ықпал етеді.

Түйін сөздер: *субөнімдер, су белсенділігі, pH, ылғал байланыстыру қабілеті, паста, қарын, бауыр, жүрек.*

A.K. Suichinov, Zh.S. Yesimbekov, G.A. Kapasheva*, G.E. Zhuzzhasarova
[1]Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry(Semey branch),
071410, Republic of Kazakhstan, Semey, 29 Baitursynova str.
*e-mail: gena.89.89@mail.ru

INVESTIGATION OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF BEEF, HORSE AND LAMB OFFAL PASTES

The article presents a study of the influence of the ratio of different types of by-products (heart, liver, rumen) on the physicochemical properties of by-product paste made from beef, lamb and horse by-products. The aim of the work was to determine the patterns of pH, water activity (aw) and water-binding capacity (WBC) changes depending on the proportion of each type of by-product. The by-product paste was prepared by two-stage grinding and pre-treatment of the rumen. Four formulations with different proportions of heart, liver and rumen were developed. In beef by-product paste, increasing the proportion of rumen led to a decrease in pH to 4.65 and an increase in WBC to 60.4%, whereas in lamb paste pH varied only within a narrow range from 6.23 to 6.36 and in horse paste from 5.28 to 5.65. The highest values of water activity were recorded in beef by-product paste, aw reached 0.9904 in variants 3 and 4, whereas the minimum values were observed in mutton by-product paste, aw decreased to 0.9576 in variant 2. Horse by-product paste was characterized by intermediate values of aw in the range of 0.9838-0.9857. Thus, variant 4 is optimal for beef by-product paste, variant 2 for lamb paste, and variant 3 for horse by-product paste. The results demonstrate the prospects of controlling the technological performance of by-products by optimizing the composition. This approach helps to expand the range of functional products and reduce food waste.

Key words: *by-products, water activity, pH, water-binding capacity, paste, rumen, liver, heart.*

Автор туралы ақпарат

Ануарбек Казисович Суйчинов – қауымдастырылған профессор, PhD; «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми зерттеу институты» ЖШС Семей филиалы, Қазақстан Республикасы, Семей қ.; e-mail: asuychinov@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4862-3293.

Жәнібек Серікбекұлы Есимбеков – қауымдастырылған профессор, PhD; «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми зерттеу институты» ЖШС Семей филиалы, Қазақстан Республикасы, Семей қ.; e-mail: ezhanibek@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8556-9954.

Гүлдана Әділғазықызы Қапашева* – техника ғылымдарының магистрі; «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми зерттеу институты» ЖШС Семей филиалы, Қазақстан Республикасы, Семей қ.; e-mail: gena.89.89@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0735-9783.

Гүлнұр Еркінғазықызы Жүзжасарова – докторант; «Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми зерттеу институты» ЖШС Семей филиалы, Қазақстан Республикасы, Семей қ.; e-mail: gulnur900607@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-5470-4345.

Сведения об авторах

Ануарбек Казисович Суйчинов – ассоц. профессор, PhD; Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Республика Казахстан, г. Семей; e-mail: asuychinov@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4862-3293.

Жанибек Серикбекович Есимбеков – ассоц. профессор, PhD; Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Республика Казахстан, г. Семей; e-mail: ezhanibek@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8556-9954.

Гулдана Адильгазыевна Капашева* – магистр технических наук; Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Республика Казахстан, г. Семей; e-mail: gena.89.89@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0735-9783.

Гулнур Еркингазиевна Жүзжасарова – докторант; Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Республика Казахстан, г. Семей; e-mail: gulnur900607@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-5470-4345.

Information about the authors

Anuarbek Kazisovich Suychinov – assoc. Professor, PhD; Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry (Semey Branch), Republic of Kazakhstan, Semey; e-mail: asuychinov@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4862-3293.

Zhanibek Serikbekovich Yessimbekov – assoc. Professor, PhD, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry (Semey Branch), Republic of Kazakhstan, Semey, e-mail: ezhanibek@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8556-9954.

Guldana Adilgazievna Kapasheva* – Master of Technical Sciences; Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry (Semey Branch), Republic of Kazakhstan, Semey; e-mail: gena.89.89@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0735-9783.

Gulnur Yeringazievna Zhuzzhasarova – PhD-doctoral student; Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry (Semey Branch), Republic of Kazakhstan, Semey; e-mail: gulnur900607@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-5470-4345.

Поступила в редакцию 02.06.2025
Поступила после доработки 06.08.2025
Принята к публикации 07.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-26

IRSTI: 65.09.05

CC BY 4.0
Check for updates

L.D. Abubakirova*, T.Ch. Tultabayeva
S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
010011, Kazakhstan, Astana, Zhenis Ave., 62
*e-mail: laura.abubakirova@mail.ru

THE RESEARCH OF THE QUALITY OF MILLET AND OAT

Abstract: *Currently, there is a growing public demand for whole grains, driven by increasing awareness of their health benefits. Scientific evidence has demonstrated that whole grains possess superior nutritional value compared to highly processed cereal products. Disruptions in gastrointestinal water balance, elevated blood cholesterol levels, and the accumulation of toxins and heavy metals have detrimental effects on the human body and contribute to the onset of various diseases. In contrast, regular consumption of whole grains has been shown to improve blood circulation, support cardiovascular function, and help maintain a balanced intestinal microbiota, thereby promoting overall health.*

Among various cereal grains, millet and oats stand out as particularly suitable for daily gluten-free diets. These grains are especially rich in B-group vitamins and dietary fiber, making them valuable components of a balanced nutritional regimen. In this context, the present study investigates the potential use of whole millet and oat grains as functional ingredients in the formulation of fermented beverages, with particular emphasis on their bioactive compounds and enhanced nutritional profile.

Despite their known health benefits, whole grains also contain phytic acid, which can inhibit the absorption of essential macro- and micronutrients. To mitigate this effect, the grains were soaked in water for six hours – a process shown to effectively reduce phytic acid levels.

Following this treatment, two drying methods were applied: convective drying at 38°C using a Sedona dehydrator, and pan-toasting in a WOK at heat levels 6 to 8. The processed raw materials were subsequently analyzed for their sensory attributes, B-vitamin content, dietary fiber levels, and concentrations of water-soluble antioxidants. The results indicated that the overall nutritional quality of both millet and oat grains was maintained under both drying conditions, with the exception of vitamin B3, which showed a decline in oats subjected to pan-toasting.

Key words: *millet, oats, phytic acid, soaking, fibers, neutralization.*

Introduction

A significant proportion of essential vitamins, minerals, and bioactive compounds beneficial to human health are derived from the consumption of liquid-based food products. Among them, fermented milk beverages are increasingly recognized as functional and health-promoting alternatives. Despite their nutritional advantages, the commercial beverage market remains dominated by sugar-sweetened mineral drinks containing artificial colorants and preservatives. Although fermented beverages are available in retail settings, their variety remains limited. To address this gap, the present study investigates the incorporation of selected grain crops into fermented drinks to enhance their nutritional profile, organoleptic properties, and gastrointestinal benefits.

Kazakhstan is a major producer of grain crops, each possessing distinctive nutritional and functional characteristics. Among the key components, dietary fiber plays a critical role in maintaining water balance, binding metabolic by-products, and eliminating water-soluble toxins from the body.

Furthermore, fiber contributes to the regulation of various physiological and biochemical processes. B-group vitamins have also been shown to support energy metabolism, the functioning of the central nervous system, and cardiovascular regulation. A well-balanced intake of carbohydrates, fats, and proteins remains a fundamental requirement of the human diet. Based on scientific criteria, millet and oats were selected for this study due to their rich content of fiber and B vitamins, as well as their established benefits for digestive health.

Oats and millet are widely utilized as breakfast cereals and porridge bases and, in the case of oats, also serve as raw materials for the production of plant-based milk alternatives. The advantages of these grains are multifaceted. Both crops exhibit strong ecological adaptability. Millet, for example, requires significantly less water compared to other grain crops – approximately 300-400 cubic meters per hectare per irrigation cycle. Oats, due to their resilience, are adaptable to a wide range of environmental conditions. In addition to their agronomic benefits, both grains have been associated with reduced risks of hypercholesterolemia, diabetes, and hypertension. Their high dietary fiber content not only supports energy metabolism but also contributes to gut microbiota regulation, cholesterol reduction, heavy metal detoxification, and exerts a prebiotic effect. Consequently, the integration of these grains into functional food formulations may provide preventive health benefits and reduce the incidence of chronic diseases.

However, like legumes, oilseeds, and nuts, cereal grains inherently contain phytic acid, which comprises 60-80% of their total phosphorus content. Phytic acid ($InsP_6$) is known to inhibit the absorption of essential minerals such as iron, magnesium, zinc, and calcium – elements vital to numerous metabolic functions. Consequently, mineral deficiencies resulting from high phytic acid intake may impair physiological functions and compromise immune competence. To mitigate these effects, neutralization of phytic acid is necessary. By analyzing the physicochemical properties of the grains post-treatment, it becomes possible to evaluate and predict their nutritional quality and functional potential.

The primary objective of this study is to neutralize phytic acid in whole millet and oat grains and to assess their organoleptic characteristics and physicochemical parameters for their application in fermented functional beverages.

Materials and methods

The objects of this study were processed whole grain samples of oats and millet. The investigation into the physicochemical and organoleptic characteristics of these grains was carried out in the scientific laboratory of the Department of Technology of Food and Processing Production at Kazakh Agrotechnical Research University named after by S. Seifullin and the Research laboratory for assessing the quality and safety of food products of the «Almaty Technological University» JSC.

The quality analysis of millet and oat grains was performed using methods specified in regulatory and technical documentation. The experimental procedures were conducted under controlled conditions of 21°C temperature and 64% relative humidity. The primary physicochemical analyses employed during the study included the following:

- Mass fraction of crude fiber, % (according to GOST 31675-2012)
- Water-soluble antioxidants, mg/100 g (according to GOST R 54037-2010)
- Vitamins B1, B2, B6, B5, B3 (according to GOST 31483-2012)
- GOST 28673-2019 «Oats. Technical Specifications»
- GOST 22983-2016 «Millet. Technical Specifications»

Additionally, following water soaking, the millet and oat grains were dried using a Sedona brand convection oven at 38°C and a WOK pan.

Results and discussion

In the scientific laboratory of the Department of Food and Processing Industry Technology of the Kazakh State Agrarian University named after S. Seifullin, dry whole grains of millet and oats were selected (the grains were soaked in filtered water once, the next day another batch was used) and these grains were soaked in filtered water every day. The first day the grains have stayed in filtered water for 10 hours, the second day for 9 hours, the third day for 8 hours, the fourth day for 7 hours, the fifth day for 6 hours and the sixth day for 5 hours. The purpose of soaking these grains in filtered water was to neutralize the phytic acid contained in them. They were also monitored and compared for the absence of foreign tastes and odors, as well as the neutralization of phytic acid over a period of 5 to 10 hours.

Table 1 – Soaking durations of experimental samples of millet and oat grains in water

№ Test Samples	Duration	Millet	Oats
Test Sample № 1	10 hours	There was a strong sour smell, and there were small bubbles on the surface of the water	The smell of fermentation was distinct, and the surface of the water was covered with tiny spherical bubbles
Test Sample № 2	9 hours	A strong smell of fermentation, small bubbles on the surface of the water	There was a faint sour smell, and small spherical bubbles remained on the surface of the water
Test Sample № 3	8 hours	The smell of fermentation remained, the bubbles on the surface of the water became smaller	There was a sour smell, and the water surface had a few small spherical bubbles
Test Sample № 4	7 hours	There was a strange smell, no bubbles were visible.	There was no sour, foreign smell, but there were a few bubbles on the surface of the water
Test Sample № 5	6 hours	There was no foul or foreign odor, the water remained clean.	There was no foul or foreign odor, the water remained clean
Test Sample № 6	5 hours	There was no foul or foreign odor, the water remained clean	There was no foul or foreign odor, the water remained clean

As a result, it was found that when the grain is soaked in water for 5-6 hours on the fifth and sixth day, its organoleptic indicators remain unchanged. This suggests that a 6-hour soaking period may represent the optimal duration for achieving maximal phytic acid reduction while preserving the sensory properties of the grains. Accordingly, following the 6-hour aqueous soaking treatment for phytic acid neutralization, further analyses were conducted to examine the impact of this process on the grains' physicochemical properties.

At first, 300 g of unsoaked oat crop was taken as control sample No. 1. 300 g of samples No. 2 and No. 3 were also taken and soaked in water for 6 hours. 600 ml of filtered water at a temperature of 45-60 ºC was poured into each sample. After the phytic acid was neutralized by soaking and pouring off the remaining excess water, the crops were washed again in filtered water and dried in 2 different ways. The first was in the oven at a temperature of 38 ºC, and the second was placed in a WOK pan and fried. Nothing was poured into the pan and the indicator on low heat was between 6-8. There was no significant change in the weight after drying of the 2 methods (table 2). The same 2 different methods were repeated for millet control samples and samples (shown in the figure 1).

Table 2 – Weight of millet and oat grain samples before and after drying

Samples	**Before pouring water, gr**	**After drying, gr**
Control Oats №1	300	–
Oats № 2	300	281
Oats № 3	300	265
Control Millet № 1	300	–
Millet № 2	300	289
Millet № 3	300	286

Figure 1 – Drying process of whole grain samples of millet and oats

As a result, oat sample No. 2 exhibited a weight difference of 19 grams, while sample No. 3 showed a difference of 35 grams. It was further observed that millet grains absorbed less water than oat grains, with respective differences of 11 grams and 14 grams. Consequently, the final weight of millet and oat grains dried in the oven was greater than that of the samples subjected to pan-frying. Figure 1 presents the process of drying whole grain millet and oat samples in an oven and in a pan.

The organoleptic characteristics of the grains after drying are presented in the following table (table 3).

Table 3 – Organoleptic evaluation of whole grain millet and oat samples after drying

Sample Name	Color	Odor	Taste	Visual Appearance
Test Sample Oats № 1	Light yellow	Fresh, free from mold, mustiness, and off-odors	Pleasant, without bitterness	Predominantly whole, large in size, with a nearly cylindrical or pear-shaped form
Test Sample Oats № 2	Light yellow	Fresh, free from mold, mustiness, and off-odors	Pleasant, without bitterness	Predominantly whole, large in size, with a nearly cylindrical or pear-shaped form
Test Sample Millet № 1	Light brown	Fresh, clean, free from mold, mustiness, and off-odors	Mildly sweet and nutty	Small, oval-round in shape, covered with husks, uniform in form
Test Sample Millet № 2	Light brown	Fresh, clean, free from mold, mustiness, and off-odors	Neutral, nutty	Small, oval-round in shape, covered with husks, uniform in form

The table shows the values of fiber content and water-soluble antioxidants in grains with neutralized phytic acid. It is clear that there were no significant changes in the result. However, while the fiber content of oat grain in the control sample without soaking was close to the result after roasting, the oven-drying method showed a result 1% lower. While the results after roasting were similar to the fiber content of the control sample of millet grain, the fiber content of the oven-dried grain did not change significantly. Along with determining the amount of fiber in millet and oat grains, the amount of water-soluble antioxidants was also studied. The results showed that the quality of the grain was preserved both when roasting and when drying in the oven, as evidenced by the fiber content.

The content of group B vitamins in these samples was additionally determined (shown below). According to the obtained results, there were no significant changes compared to the control sample. However, a significant difference in the content of vitamin B3 was observed in the oat sample No. 3 compared to the control sample. It turns out that vitamin B3 loses its properties when oats are fried (table 4).

Table 4 – Content of mass fraction of fiber and water-soluble antioxidants in experimental and control samples of whole grain oats and millet

Samples	**Mass fraction of fiber**	**Water-soluble antioxidants**
Control Oats № 1	9,65±0,12	0,81±0,0066
Oats № 2	8,64±0,10	0,71±0,0016
Oats № 3	9,11±0,11	0,76±0,0064
Control Millet № 1	4,18±0,04	0,57±0,0050
Millet № 2	3,93±0,04	0,52±0,0015
Millet № 3	3,96±0,05	0,56±0,0076

In addition, it has been established that the process of neutralization of phytic acid by soaking millet and oat grains in water does not affect the quality of these crops (Figure 2).

Therefore, the quality characteristics of millet and oat grains used as functional fillers in the formulation of fermented beverages remained largely stable, even after being subjected to a six-hour water soaking process.

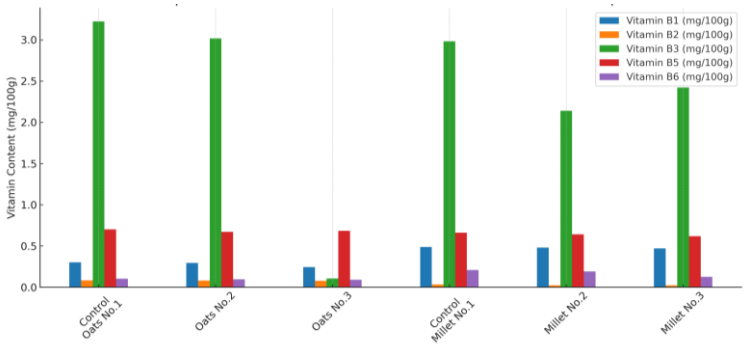


Figure 2 – Comparative vitamin B content in whole grain oat and millet samples

Conclusion

Oats and millet were selected among cereal crops for research as additives to dairy fermented drinks. Determined soaking time and drying methods for the above types of whole grains, as well as their mass after drying. Furthermore, the organoleptic properties of grains subjected to soaking in water were assessed in the context of phytic acid neutralization. Following drying, additional evaluations were conducted to determine their fiber content, levels of water-soluble antioxidants, and B-group vitamins. The findings of the study demonstrated that soaking whole oat and millet grains in water for six hours effectively neutralizes phytic acid without compromising their organoleptic properties or causing a loss of vitamins, macro-, and micronutrients.

Therefore, the integration of processed whole-grain oats and millet, characterized by varying physicochemical properties, into fermented beverages as functional additives has the potential to improve digestibility and overall product quality. Nevertheless, further studies are needed to better understand how phytic acid behaves in cereal grains and how it influences their nutritional and functional properties.

References

1. Research of physical and chemical properties and toxic elements in locally bred oats for the production of cereal dri nks / A.D. Myrzhkbayeva et al // The Journal of Almaty Technological University. – 2022. – № 4. – P. 42-49.
2. Research and development of the refreshing whey drinks technology / G.N. Zhakupova et al // The Journal of Almaty Technological University. – 2022. – № 4. – P. 99-105.
3. Soluble dietary fiber from Prunus persica dregs alleviates gut microbiota dysfunction through lead excretion / M. Yao et al // Food and Chemical Toxicology. – 2023. – Vol. 175.
4. Vitamins, minerals and their maternal levels' role in brain development: An updated literature review / S.M. Hosseini et al // Clinical Nutrition ESPEN. – 2024. – Vol. 63. – P. 31-45.
5. The nutrition and therapeutic potential of millets: an updated narrative review / J. Jacob et al // Frontiers in Nutrition. – 2024. – Vol. 11.
6. Proximate, mineral and anti-nutrient compositions of oat grains (Avena sativa) cultivated in Ethiopia: Implications for nutrition and mineral bioavailability / G.F. Alemayehu et al // Heliyon. – 2021. – Vol. 7, № 8.
7. Can more drought resistant crops promote more climate secure agriculture? Prospects and challenges of millet cultivation in Ananthapur, Andhra Pradesh / H.W. Fischer et al // World Development Perspectives. – 2016. – Vol. 2. – P. 5-10.
8. Kumar A. Role of millets in disease prevention and health promotion / A. Kumar, P. Kumari, M. Kumar // Functional Foods and Nutraceuticals in Metabolic and Non-Communicable Diseases. – Academic Press, 2022. – P. 341-357.
9. Impact of oats in the prevention/management of hypertension / J. Bouchard et al // Food Chemistry. – 2022. – Vol. 381.
10. Rol' fitatov v pitanii cheloveka [The role of phytates in human nutrition] / E.V. Shikh et al // Voprosy pitaniya. – 2023. – № 4(548). (In Russian)/
11. Vorob'ev G.D. Opredelenie soderzhaniya fitinovoy kisloty v produktakh [Determination of phytic acid content in food products] / G.D. Vorob'ev // Molodezhnyy innovatsionnyy vestnik. – 2023. – Vol. 12, № 1. – P. 45-48. (In Russian)

Л.Д. Абубакирова*, Т.Ч. Тултабаева
С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
010011, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жеңіс даң., 62
*e-mail:laura.abubakirova@mail.ru

ТАРЫ ЖӘНЕ СҰЛЫ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ САПАСЫН ЗЕРТТЕУ

Қазіргі таңда халық сұранысы тұтас түрдегі дәнді дақылдарға артып келеді. Бұл астықтың бірнеше рет қайталама өңделген дәнді дақылдарға қарағанда сапасы жоғары болатыны дәлелденген.

Ағзада жиі кездесетін асқазан ішек жолдарында судың тепе теңдігі сақталмай, қандағы холестерин мөлшерінің асқынуы, токсиндер мен ауыр металдардың болуы сияқты мәселелер кері әсерін тигізіп, көптеген ауруларға әкеледі. Ал тұтас түрдегі астықты тұтыну арқылы қан айналымы, жүрек тамыр жүйесінің жұмыстары және тағы маңызды бөлігі ол – ас қорыту жүйесінің микрофлорасын қалыпқа келтірумен денсаулығын нығайтуда оң әсерін беретіні байқалады.

Астық түрлерінің ішіндегі тары және сұлы дәндері күнделікті глютенсіз диетаға арналған дақылдар қатарына кіретінін ескерсек, сондай-ақ құрамында адам ағзасына қажетті В тобының дәрумендері және талшықтар мөлшері жоғары екендігімен ерекшеленеді. Осыған орай, биологиялық белсенді заттардың қосылыстары арқылы құндылығы мен сапасы жоғары болатын тары және сұлы дәндерінің тұтас түрлері ашытылған сусынға толықтырғыш ретінде қосу мақсатында берілген шикізат түрін зерттеу осы жұмыста қарастырылады.

Тұтас түрдегі тары және сұлы дәндері денсаулыққа қатысты мәселелерді шешуде талаптарға сай болғанымен, адам ағзасына қажетті макро, микро элементтердің сіңуіне әсер ететін фитин қышқылы болатыны анықталған. Ол үшін аталған дәндерді суда тұнықтыру әдісі қолданылды, нәтижесінде, фитин қышқылын суда 6 сағат тұнықтыру әдісімен бейтараптандырылды. Одан әрі аталған астықтарды кептірудің 2 жолы (Sedona маркалы конвективті пеште 38ºС температурада және WOK табасында 6-8 дәрежесінде қуырып кептіру) ұсынылды. Кептіруден кейін дайын болған шикізаттың органолептикалық қасиеттері, В тобының дәрумендері, талшықтары және суда ертитін антиоксиданттар мөлшері зерттелді. Нәтижесінде тары және сұлы дәндерінің суда тұнықтырылғанға дейін және одан әрі кептіру жолдарынан кейін де барлық үлгілерінде сапасы сақталды. Тек В3 витамині бойынша сұлы дәнінің қуырылған әдісі бойынша төмен көрсеткіш берді.

Түйін сөздер: *тары, сұлы, фитин қышқылы, суда тұнықтыру, талшықтар, бейтараптандыру*

Л.Д. Абубакирова*, Т.Ч. Тултабаева
Казахский агротехнический исследовательский
университет имени С.Сейфуллина,
010011, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Жеңіс, 62
*e-mail:laura.abubakirova@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПШЕНА И ОВСА

В настоящее время наблюдается рост интереса населения к цельнозерновым культурам. Доказано, что они обладают более высоким качеством по сравнению с неоднократно переработанными зерновыми продуктами.

Нарушение водного баланса в желудочно-кишечном тракте, повышение уровня холестерина в крови, накопление токсинов и тяжёлых металлов — всё это оказывает неблагоприятное воздействие на организм и может привести к развитию различных заболеваний. Потребление цельного зерна, в свою очередь, способствует нормализации кровообращения, улучшению функций сердечно-сосудистой системы, а также восстановлению микрофлоры пищеварительного тракта, оказывая тем самым положительное влияние на общее состояние здоровья.

Среди злаковых культур просо и овёс выделяются как источники, рекомендованные для ежедневного безглютенового питания, отличающиеся высоким содержанием пищевых волокон и витаминов группы В, необходимых для функционирования организма. В связи с этим в данной работе рассматривается возможность использования цельных зёрен проса и овса в качестве функционального компонента в составе ферментированного напитка, с акцентом на их высокую питательную ценность и содержание биологически активных соединений.

Несмотря на соответствие цельных зёрен проса и овса требованиям к продуктам, способствующим укреплению здоровья, установлено, что они содержат фитиновую кислоту, которая может снижать усвоение жизненно важных макро- и микроэлементов в организме. С целью её нейтрализации в работе применялся метод предварительного замачивания зерна в воде в течение 6 часов. Проведённый анализ показал, что данная обработка способствует эффективному

снижению уровня фитиновой кислоты. В дальнейшем были апробированы два метода сушки: конвективная сушка при температуре 38 °С в дегидраторе марки Sedona и обжарка в сковороде WOK на уровне нагрева 6–8. Готовое сырьё было исследовано на предмет органолептических показателей, содержания витаминов группы В, пищевых волокон и водорастворимых антиоксидантов. По результатам анализа установлено, что питательная ценность сырья сохранялась после обеих обработок, за исключением витамина В3, уровень которого был снижен в овсе, прошедшем термическую обработку методом обжаривания.

Ключевые слова: *пшено, овес, фитиновая кислота, замачивание, волокна, нейтрализация*

Авторлар туралы мәліметтер

Лаура Даулетовна Абубакирова* – «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының докторанты; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: laura.abubakirova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9003-212X.

Тамара Чумановна Тултабаева – т.ғ.д., ҚР АШҒА Академигі, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: tamara_tch@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2483-7406.

Сведения об авторах

Лаура Даулетовна Абубакирова* – докторант кафедры «Технологии пищевых и перерабатывающих производств»; Казахский аротехнический исследовательский Университет имени С.Сейфуллина; e-mail: laura.abubakirova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9003-212X.

Тамара Чумановна Тултабаева – д.т.н., Академик АСХН РК, профессор кафедры «Технологии пищевых и перерабатывающих производств»; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина; e-mail: tamara_tch@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2483-7406.

Information about the authors

Laura Dauletovna Abubakirova* – doctoral student of the department of «Technology of food and processing industries»; Kazakh agrotechnical research university named after S. Seifullin; e-mail: laura.abubakirova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9003-212X.

Tamara Chumanovna Tultabayeva – Doctor of Technical Sciences, Academican of the Academy of Agricultural Sciences of the Republic of Kazakhstan, Professor of the Department of «Technology of food and processing industries»; Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: tamara_tch@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2483-7406.

Received 05.06.2025
Revised 27.06.2025
Accepted 31.07.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-27

МРНТИ: 65.39.31.

BY 4.0
Check for updates

Б.К. Асенова*, А.Н. Нұрғазезова, Г.Н. Нұрымхан, А.С. Камбарова, Л.С. Бакирова
Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки көшесі, 20 А
*e-mail: asenova.1958@mail.ru

ӨСІМДІКТЕН ЖӘНЕ ЖАНУАРДАН АЛЫНАТЫН ФУНКЦИОНАЛДЫ БИӨНІМДЕРДІ ЕМДІК-ПРОФИЛАКТИКАЛЫҚ ТАҒАМДА ПАЙДАЛАНУ

Аңдатпа: *Бұл мақалада Қазақстан Республикасының 2021-2025 жылдарға арналған агроөнеркәсіптік кешенін дамыту ұлттық жобасы аясында функционалдық тағам өнімдерін, атап айтқанда йодпен байытылған қайнатылған шұжық өнімдерін жасау және олардың тағамдық құндылығын арттыру мәселесі қарастырылады. Зерттеу барысында өнімдердің химиялық, аминқышқылдық және энергетикалық құрамы сараланып, функционалдық және технологиялық қасиеттері талданды. Эксперимент нәтижелері бірінші нұсқаның ақуыз, кальций және йод мөлшері бойынша басым екенін көрсетті. Сонымен қатар, мақалада функционалдық биоөнімдерді өндіруде*

өсімдік пен жануар тектес шикізатты пайдалану арқылы оларды емдік-алдын алу мақсатында қолданудың технологиялық негіздері қарастырылады. Функционалдық тағам өнімдері дәстүрлі тағамдарға қарағанда денсаулыққа оң әсер ететін, арнайы модификацияланған өнімдер болып табылады. Бұл өнімдердің басты ерекшелігі – рецептураға енгізілетін биологиялық белсенді қоспалардың болуы. Емдік-профилактикалық бағыттағы тағамдар ағзадағы биологиялық белсенді заттар тапшылығын толықтырып, иммундық жүйені қолдауға, токсиндерді бейтараптандыруға және ағзадан шығаруға көмектеседі. Мұндай өнімдерді жасаудың үш негізгі тәсілі ұсынылады: кең таралған өнімдерге арнайы компоненттерді қосу, стандартты өнімдердің рецептурасын функционалдық бағытқа сәйкестендіру және мүлде жаңа өнімдерді модельдеу. Мақалада алынған нәтижелер негізінде жасалған шұжық өнімдерінің жоғары тағамдық және биологиялық құндылыққа ие екенін дәлелдейді. Зерттеу нәтижелері функционалдық өнімдерді денсаулықты нығайту, аурулардың алдын алу және халықтың тамақтану құрылымын оңтайландыру құралы ретінде қолдануға болатынын көрсетеді.

Түйін сөздер: *Емдік-профилактикалық өнімдер, функционалдық биоөнімдер, аминқышқылдық құрамы, өсімдік компонент, тағамдық және биологиялық құндылық.*

Кіріспе

Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешенін дамыту жөніндегі 2021-2025 жылдарға арналған ұлттық жобасында көрсетілген міндеттердің қатарында «Отандық өндірістің негізгі азық-түлік тауарларымен қамтамасыз етілуі» бар, 1-көрсеткіш.

Азық-түлік тауарларымен (оның ішінде әлеуметтік маңызы бар) 80% деңгейінде қамтамасыз етілуі, 3-көрсеткіш ретінде шұжық өнімдерінің өндірісі, 4-көрсеткіш ретінде «Қауіпсіздік көрсеткіштері бойынша мониторингтелуі тиіс тамақ өнімдерін қамту үлесі» белгіленді [1].

Бұл жұмыстың негізгі мақсаты – халықтың тағамдық құрылымын оңтайландыру және йод тапшылығының алдын алу мақсатында, өсімдік және жануар тектес шикізаттарды, соның ішінде теңіз капустасы, балдырлар мен «йодактив» сияқты биологиялық белсенді қоспаларды пайдалана отырып, функционалдық және емдік-профилактикалық қасиеттерге ие йодпен байытылған қайнатылған шұжық өнімдерінің тиімді рецептурасын жасау. Атап айтқанда, халықты йод тапшылығынан қорғауға бағытталған, биологиялық белсенді компоненттер (теңіз капустасы, балдырлар негізіндегі тағамдық қоспалар, йодактив) қосылған шұжық өнімдерінің тиімді рецептурасын жасау. Сонымен қатар, шұжық өнімдерінің тағамдық және биологиялық құндылығын, аминқышқылдық және минералдық құрамын, технологиялық қасиеттерін зерттеу арқылы алынған өнімнің денсаулыққа пайдалы, қауіпсіз және тұтынуға жарамды екенін ғылыми негіздеу.

Адам денсаулығын сақтау – өзекті мәселелердің бірі болып табылады. ФАО / ДДСҰ халықаралық ұйымдарының қорытындыларына сәйкес, бұл мәселенің ең қарапайым әрі тиімді шешімдерінің бірі – салауатты немесе оңтайлы тамақтану жүйесін құру, яғни функционалдық тағам өнімдері мен биологиялық белсенді тағамдық қоспалар жасау болып табылады. Сауықтыру мақсатындағы қайнатылған шұжық өнімдерінің функционалды-технологиялық қасиеттерінің өзгерісін сипаттайтын эксперименттік деректер талданды. Жалпы микробиологиялық көрсеткіштердің, санитарлық-индикаторлық микрофлораның болуын және микроорганизмдер санының өзгеру кинетикасын динамикада өзгеру барысында зерттеу жүргізілді.

Қазақстан халқының тамақтану құрылымына жүргізілген талдау қазіргі адамның тағамдық жағдайының оның ағзасының энергия және физиологиялық қажеттіліктеріне сай келмейтінін көрсетеді [2].

Қазақстанда халықтың денсаулығын жақсарту мақсатында функционалдық тағам өнімдерін рационға енгізу арқылы тамақтану құрылымын оңтайландыру тұжырымдамасы басым бағыттардың бірі болып саналады.

Функционалдық тағам өнімдері – бұл күрделі көп компонентті жүйелер, олардың жасалуы белгілі бір физиологиялық белсенділікке ие тағамдық биологиялық белсенді қоспаларды қолданусыз мүмкін емес, сондай-ақ бұл қоспалар өнімге қажетті тұтынушылық қасиеттердің қалыптасуын қамтамасыз етеді [3] .

Диетология, медицина және фармакология саласындағы жетекші мамандардың болжамдарына сәйкес, алдағы 15-20 жылда функционалдық тағам өнімдерінің үлесі бүкіл азық-түлік нарығының 30%-дан астамын құрайды және дәстүрлі дәрі-дәрмектерді нарықтан 50%-ға дейін ығыстырады [4] .

Функционалдық тағам өнімдерінің ерекшелігі – олардың дәстүрлі қоректік және энергия көзі болуымен қатар, белгілі бір физиологиялық белсенділікке ие болып, ағзаның қоршаған ортаның кері әсерлеріне қарсы тұру қабілетін арттыруға көмектеседі. Қазіргі уақытта функционалдық және байытылған тағам өнімдері ажыратылып отыр [5]. Функционалдық тағам өнімдеріне – құрамында физиологиялық тұрғыда белсенді тағамдық ингредиенттері бар, барлық сау тұрғындар тобына жүйелі түрде тұтынуға арналған, денсаулықты сақтауға және жақсартуға, тамақтануға байланысты аурулардың алдын алуға бағытталған өнімдер жатады [6].

Байытылған тағам өнімдеріне – дәстүрлі тағам өнімдеріне физиологиялық белсенді ингредиенттерді қосу арқылы алынған, ағзадағы қоректік заттардың жетіспеушілігінің алдын алуға немесе оны түзетуге бағытталған функционалдық тағам өнімдері жатады. Мұндай өнімдерді жасау табиғи негіздегі ақуызды байытқыштарды қолданусыз мүмкін емес [7].

Әр түрлі жас топтарының, соның ішінде балалардың нақты тамақтану жағдайын зерттеу экологиялық жағдайы нашар аймақтар – Шығыс Қазақстан, Павлодар және басқа да өңірлер үшін бағытталған әсері бар функционалдық өнімдерді жасаудың аса өзекті екенін көрсетеді. Бұл өңірлердегі қолайсыз санитарлық-эпидемиологиялық жағдай сырқаттанушылықтың жоғары деңгейімен, онкологиялық, генетикалық, аллергиялық аурулардың өсуімен сипатталады және бұл демографиялық жағдайға кері әсерін тигізуде [8].

Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігінің статистикалық деректері бойынша эндокриндік жүйе ауруларының, соның ішінде йод тапшылығына байланысты аурулардың көбеюі байқалады. Йод тапшылығы эндемиясы біздің аймақта кең таралған. Шығыс Қазақстан облысында балалар арасында байқалатын зоб ауруы 35%-ға дейін жетсе, ересек тұрғындар арасында бұл көрсеткіш 60%-ға дейін жетеді.

Қазіргі уақытта алдын алу үшін түрлі әдістер қолданылуда – йодталған тұз, йод пен темір қосылған дәрілік және витаминдік препараттарды қолдану. Алайда, мұндай дәрілік заттарды қолдану медициналық бақылауды және жекелей тәсілді қажет етеді [9]. Йод тапшылығының алдын алуда органикалық молекулалармен байланысқан йодты қолдану анағұрлым тиімді болып табылады.

Майда және сүтті негіздегі өнімдер құрамына өсімдік тектес толтырғыштарды қосу арқылы алынған, құрамында биологиялық белсенді заттар (минералдар – кальций, темір, йод, дәрумендер, полиқанықпаған май қышқылдары, антиоксиданттар, тағамдық талшықтар) бар өнімдерді рационға енгізу ішек микробиоценозын, иммунологиялық жағдайды, липидтік және минералдық алмасуды тұрақтандыруға және қолдауға, сондай-ақ токсинді әсер ету жағдайында ағзаның бейімделу тұрақтылығын арттыруға септігін тигізеді [10]. Бұл биөнімдер ағзаның биохимиялық және функционалдық күйін реттейтін аса маңызды факторлар қатарына жатады. Олардың тапшылығы әрқашан ағзаның сыртқы ортаның жағымсыз факторларына қарсы тұру қабілетінің төмендеуімен, ақыл-ой және физикалық жұмысқа қабілеттіліктің әлсіреуімен қатар жүреді.

Зерттеу шарттары мен әдістері

Зерттеу объектісі ретінде алынған ет өнімдері түрлі аналитикалық әдістер арқылы зерттелді. Шұжық өнімдерін дайындауға арналған шикізаттар қолданылып жүрген нормативтік-техникалық құжаттар талаптарына сай келуі қажет. Қолданылған зерттеу әдістері мен материалдары МЕСТ стандарттарына сәйкес таңдалды. Барлық тәжірибелік жұмыстар арнайы ғылыми зертханалар мен орталықтарда жүргізілді. Зерттеу барысында өнімдердің функционалдық және технологиялық қасиеттері, сондай-ақ теңгерімді тамақтануға сәйкестігі жан-жақты талданды. Дайын өнім үлгілерінің сапасы алынған эксперименттік нәтижелердің нормативтік-техникалық құжаттар талаптарымен сәйкестігі арқылы дәлелденді.

Шұжық өнімдерінің химиялық құрамы «Инфралюм ФТ-12» инфрақызыл анализаторы арқылы анықталды.

Аминқышқылдық құрамды анықтау «Shimadzu LC-20 Prominence» хроматографиялық жүйесінде, флуориметриялық және спектрофотометриялық детекторлар көмегімен жүргізілді (өндірушісі – Shimadzu, Жапония).

Атомдық сіңірудің спектрометриялық әдісімен минералдардың құрамы.

Зерттеу нәтижелері

Рецептураларды математикалық модельдеу нәтижесінде ет өнімдері рецептураларындағы ингредиенттердің ең оңтайлы арақатынасы анықталды. Ұсынылып отырған қайнатылған шұжық өнімдерінің рецептуралары 1-кестеде келтірілген.

1 кесте – Пісірілген шұжық өнімдерінің рецептурасы

Көрсеткіштер, %	Нұсқалар			
	Бақылау үлгісі	1 нұсқа	2 нұсқа	3 нұсқа
I санатты сиыр еті	47-42	47-42	0	47-42
Құс еті	42-50	42-50	85-95	42-50
Шикі май	-	10,5-7,6	14,8-4,7	10,95-7,90
Теңіз капустасы	0	0	0	0,05-0,10
Тағамдық қоспа1	0	0	0,2-0,3	0
Тағамдық қоспа 2	0	0,5-0,4	0	0
Сарымсақ	0,1	0,1	0,1	0,1
Құмшекер	0,2	0,2	0,2	0,2
Қара бұрыш	0,1	0,1	0,1	0,1
Кориандр	0,1	0,1	0,1	0,1

Йодпен байытылған жаңа үлгідегі ет шұжық өнімдерінің компоненттік құрамын оңтайлы таңдау мақсатында 3 түрлі рецептура нұсқасы, бақылау нұсқасымен салыстырылып зерттелді.

Функционалдық-технологиялық сипаттамаларға өсімдік компоненті мен тағамдық қоспалардың әсер ету деңгейі мен нәтижелері талданды. Эксперимент нәтижелері көрсеткендей, өсімдік компонентін (теңіз капустасы), тағамдық қоспа 1 мен 2-ні (балдырлар және йодактив) 1-кестеде көрсетілген қатынаста қолдану фаршtың технологиялық қасиеттерінің бірқатар өзгеруіне әкеледі, бұл бақылау үлгісімен салыстырғанда байқалды.

Дайындалған қайнатылған өнімдердің тағамдық және биологиялық құндылығын талдау олардың көпшілік көрсеткіштері бойынша теңгерімді тамақтану формуласына сәйкес келетінін және ұсынылған медико-биологиялық талаптарға сай екенін көрсетті. Бұл өнімдердің тағамдық құндылығын қамтамасыз ететін алмастырылмайтын амин қышқылдарының мөлшерін арттыруға мүмкіндік берді. Қайнатылған өнімдердің компоненттік құрамының таңдалған қатынасы дайын өнімнің негізгі алмастырылмайтын заттар бойынша теңгерімділігін қамтамасыз етеді, яғни қажетті ақуыз бен майдың қатынасы (1,0:1,0±0,3) іс жүзінде сақталған.

Рецептура құрамын таңдауда компоненттегі йод мөлшері де ескерілді, бұл йод құрамды компоненттерді рецептураға енгізуге негіз болды – теңіз капустасы (100 г-да 220 мг), тағамдық қоспалар – балдырлар (100 г-да 160–800 мг) және йодактив (100 г-да 20 мг) – йод тапшылығы жағдайында тиімді сіңетін органикалық қосылыстар.

Ғылыми нәтижелерді талқылау

Йодпен байытылған қайнатылған шұжық өнімдерін өндіруде мұндай шикізатты пайдалану кең тұтынылатын тағам өнімдерін йодпен байытуға және йод тапшылығын жою мәселесін ішінара шешуге мүмкіндік береді. Қайнатылған шұжықтардың химиялық құрамы 2-кестеде көрсетілген.

2 кесте – Қайнатылған шұжық өнімдерінің химиялық құрамы, 100 грамм өнімдегі мөлшері

Химиялық құрамы	ФАО/ДДСҰ бойынша 100 г өнімдегі мөлшері	Өлшем бірлігі	Рецептуралар		
			1нұсқа	2нұсқа	3нұсқа
Ақуыз	14-16	%	16,91±0,01	14,49±0,02	15,74±0,02
Май	18-21	%	21,9±0,02	20,4±0,03	20,4±0,01
Кальций	115-220	мг	129,0±0,03	119,4±0,02	127,9±0,02
Темір	4,0-4,5	мг	4,3±0,02	4,1±0,01	4,2±0,03
Энергетикалық құндылық	215-235	ккал	256±0,02	240,0±0,01	262±0,03

Бұл зерттеудің нәтижелері көрсеткендей , ақуыздың максималды мөлшері 16,91% және майдың мөлшері 21,9%, сәйкесінше және энергетикалық құндылығы 256 ккал шұжықтың 1 рецептурасында байқалды. Минералды құрамы: кальций 129 мг/%, темір 4,3 мг/%, шұжық өнімдерінің алғашқы рецептурасында ең жоғары болды. Шұжық өнімдерінің аминқышқылдарының құрамы 3-кестеде келтірілген.

3 кесте – Пісірілген шұжық өнімдерінің аминқышқылдық құрамы

Алмастырылмайтын аминқышқылдары	Аминқышқылдары, мг 100 г өнімге шаққанда		
	1 нұсқа	2 нұсқа	3 нұсқа
Валин	958,0±0,01	909,0±0,01	875,9±0,01
Изолейцин	911,1±0,02	870,3±0,03	745,5±0,04
Лейцин	1441,2±0,03	1380,3±0,04	1311,2±0,11
Лизин	1354,3±0,11	1589,7±0,07	1314,9±0,07
Метионин	440,7±0,08	424,6±0,01	466,9±0,02
Треонин	701,2±0,02	519,1±0,02	668,2±0,06
Триптофан	254,0±0,11	249,8±0,06	240,7±0,07
Фенилаланин	613,4±0,07	716,4±0,01	587,4±0,03

Валиннің мөлшері 1-нұсқадан 3-нұсқаға қарай біртіндеп азаяды. Валин секілді, изолейциннің де мөлшерінің азаюы байқалады. Лейцин: ең көп мөлшер – 1 – нұсқада, ең азы – 3-нұсқада. Тұрақты төмендеу үрдісі байқалады. 2 – нұсқа лизиннің мөлшері бойынша басқа нұсқалармен салыстырғанда айтарлықтай жоғары көрсеткішке ие. 3 – нұсқада басқа аминқышқылдары азайып жатқанына қарамастан, метиониннің мөлшері көбірек. 2 – нұсқа треонин бойынша айтарлықтай төмен нәтиже көрсетеді. Триптофанның мөлшері 1 – нұсқадан 3 – нұсқаға қарай сәл ғана азайған. 2 – нұсқа фенилаланиннің мөлшері бойынша алда келеді. 1 – нұсқа жалпы алғанда, аминқышқылдарының көпшілігі бойынша ең жоғары көрсеткіштерді көрсетеді, әсіресе валин, изолейцин, лейцин, треонин және триптофан бойынша. 2 – нұсқа лизин мен фенилаланиннің мөлшерімен ерекшеленеді, бірақ басқа көрсеткіштер бойынша сәл ғана төмен. 3 – нұсқа – метиониннен басқа аминқышқылдарының көпшілігі бойынша ең төмен көрсеткішке ие.

Қорытынды

Эксперимент нәтижелері өсімдік компонентін (теңіз орамжапырағы), сондай-ақ 1 және 2 тағамдық қоспаларды біз таңдаған қатынаста қолдану фарштың технологиялық қасиеттерінің бірқатар өзгеруіне алып келетінін, сонымен қатар өнімдердің тағамдық және биологиялық құндылығын арттыратынын көрсетті.

Бұл зерттеудің нәтижелері эксперименттік формуланың 1-нұсқасы 2 және 3-нұсқалармен салыстырғанда ақуыздың мөлшері жоғары екенін, сондай-ақ құрамында йодактив болғандықтан кальций мен йод мөлшері де жоғары екенін көрсетеді.

Алынған зерттеу нәтижелері йодактивтің дайын өнімдегі йод мөлшерін арттыратын мультипликативті қасиеттерге ие екенін дәлелдейді және оны функционалдық ингредиент ретінде қолдануға мүмкіндік береді. Бұл шұжық өнімдерінің фарштық жүйесінде қолданылуын әрі қарай зерттеуге негіз бола алады.

Эксперимент нәтижелері өсімдік компоненті (теңіз капустасы), сондай-ақ 1 және 2 тағамдық қоспаларын біз таңдап алған қатынастарда қолдану фарштың технологиялық қасиеттерінің бірқатар өзгеруіне әкелетінін, сондай-ақ өнімдердің тағамдық және биологиялық құндылығын арттыратынын көрсетті.

Осы зерттеудің нәтижелері көрсеткендей, тәжірибелік формуланың 1 нұсқасында 2 және 3 нұсқалармен салыстырғанда ақуыздың көп мөлшері бар, сонымен қатар балдырларды қосқанда кальций мен йодтың мөлшері жоғары.

Алынған зерттеулер теңіз қырыққабатының функционалдық ингредиент ретінде йод мөлшерін дайын өнімде арттыратын мультипликациялық қасиеттері бар екенін көрсетеді. Бұл оның шұжық фарштық жүйелерінде қолданылуын зерттеуге алдағы уақытта негіз бола алады.

Әдебиеттер тізімі

1. «Қазақстан Республикасының агроөнеркәсіптік кешенін дамыту» жөніндегі 2021-2025 жылдарға арналған, ұлттық жобасы. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2021 жылғы 12 қазандағы № 732 қаулысы.
2. Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың Қазақстан халқына Жолдауы, «Жаңа жағдайдағы Қазақстан: Іс-қимыл кезеңі» 2020 жылғы 1 қыркүйек, Нұр-Сұлтан қаласы, 2020.
3. Окусханова Э.К. Функциональные мясные продукты: современные тенденции производства: Аналитический обзор / Э.К. Окусханова, Б.К. Асенова, М.Б. Ребезов. – Семей, ВКФ АО «НЦНТИ» 2015. – 34 б.

4. Iwatani S. Functional food products in Japan: A review / S. Iwatani, N. Yamamoto // Food Science and Human Wellness. – 2019. – Т. 8, № 2. – P. 96-101.
5. Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety / D. Granato et al. // Annual review of food science and technology. – 2020. – Т. 11, № 1. – P. 93-118.
6. Díaz L.D. An international regulatory review of food health-related claims in functional food products labeling / L.D. Díaz, V. Fernández-Ruiz, M. Cámara // Journal of Functional Foods. – 2020. – Т. 68. – P. 103896.
7. Decker E.A. Healthier meat products as functional foods / E.A. Decker, Y. Park // Meat science. – 2010. – Т. 86, № 1. – P. 49-55.
8. Ет өнімдерін өндірудің физика-химиялық және биохимиялық негіздері / Б.К. Асенова и др. – Халықаралық жазылым агентігі, Алматы. – 2013. – 130 б.
9. Advancements in metal-iodine batteries: progress and perspectives / Z.Z. Shen et al // Rare Metals. – 2025. – P. 1-37.
10. Immunomodulatory Effects of Selected Non-Nutritive Bioactive Compounds and Their Role in Optimal Nutrition / K. Napiórkowska-Baran et al // Current Issues in Molecular Biology. – 2025. – Т. 47, № 2. – P. 89.

References

1. «Қазақstan Respublikasynyң agroөnerkәsiptik keshenin damytU» zhөnindegi 2021-2025 zhyldarға arnalған, ұlttyқ zhobasy. Қазақstan Respublikasy Ykimetinің 2021 zhylғy 12 қazandaғy № 732 қaulysy. (In Kazakh).
2. Memleket basshysy Қasym-Zhomart Toқaevtyң Қazaқstan khalқyna Zholdauy, «Zhaңa zhaғdaidaғy Қazaқstan: Is-қimyl kezeңi» 2020 zhylғy 1 қyrkүiek, Nұr-Sұltan қalasy, 2020. (In Kazakh).
3. Okuskhanova EH.K. Funktsional'nye myasnye produkty: sovremennye tendentsii proizvodstva: Analiticheskii obzor / EH.K. Okuskhanova, B.K. Asenova, M.B. Rebezov. – Semei, VKF AO «NTSNTI» 2015. – 34 b. (In Russian).
4. Iwatani S. Functional food products in Japan: A review / S. Iwatani, N. Yamamoto // Food Science and Human Wellness. – 2019. – Т. 8, № 2. – R. 96-101. (In English).
5. Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety / D. Granato et al. // Annual review of food science and technology. – 2020. – Т. 11, № 1. – R. 93-118. (In English).
6. Díaz L.D. An international regulatory review of food health-related claims in functional food products labeling / L.D. Díaz, V. Fernández-Ruiz, M. Cámara // Journal of Functional Foods. – 2020. – Т. 68. – R. 103896. (In English).
7. Decker E.A. Healthier meat products as functional foods / E.A. Decker, Y. Park // Meat science. – 2010. – Т. 86, № 1. – R. 49-55. (In English).
8. Et өnimderin өndirudiң fizika-khimiyalyқ zhәne biokhimiyalyқ negizderi / B.K. Asenova i dr. – Khalyқaralyқ zhazylym agentigi, Almaty. – 2013. – 130 b. (In Kazakh).
9. Advancements in metal-iodine batteries: progress and perspectives / Z.Z. Shen et al // Rare Metals. – 2025. – R. 1-37. (In English).
10. Immunomodulatory Effects of Selected Non-Nutritive Bioactive Compounds and Their Role in Optimal Nutrition / K. Napiórkowska-Baran et al // Current Issues in Molecular Biology. – 2025. – Т. 47, № 2. – R. 89. (In English).

Б.К. Асенова*, А.Н. Нургазезова, Г.Н. Нурымхан, А.С. Камбарова, Л.С. Бакирова
Шәкәрім университеті,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
*e-mail: asenova.1958@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БИОПРОДУКТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОМ ПИТАНИИ

В данной статье рассматривается вопрос создания функциональных пищевых продуктов, в частности варёных колбасных изделий, обогащённых йодом, и повышения их пищевой ценности в рамках Национального проекта развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2021-2025 годы. В ходе исследования были проанализированы химический, аминокислотный и энергетический состав продукции, а также изучены её функциональные и технологические свойства. Результаты эксперимента показали, что первый вариант рецептуры превосходит

остальные по содержанию белка, кальция и йода. Кроме того, в статье рассматриваются технологические основы использования растительного и животного сырья для производства функциональных биопродуктов с лечебно-профилактической направленностью. Функциональные пищевые продукты представляют собой специально модифицированные изделия, которые, в отличие от традиционных продуктов, оказывают положительное влияние на здоровье. Их основное отличие заключается в наличии биологически активных добавок, включаемых в рецептуру. Продукты лечебно-профилактического назначения способствуют восполнению дефицита биологически активных веществ в организме, поддерживают иммунную систему, способствуют нейтрализации токсинов и их выведению из организма. В статье предлагаются три основных подхода к созданию таких продуктов: добавление специальных компонентов в широко распространённые продукты, адаптация рецептуры стандартных продуктов под функциональные цели, а также моделирование полностью новых изделий.

Полученные в ходе исследования результаты подтверждают высокую пищевую и биологическую ценность разработанных колбасных изделий. Исследование доказывает, что функциональные продукты могут эффективно использоваться для укрепления здоровья, профилактики заболеваний и оптимизации структуры питания населения.

Ключевые слова: *лечебно-профилактические продукты, функциональные биопродукты, аминокислотный состав, растительный компонент, пищевая и биологическая ценность.*

B.K. Asenova*, A.N. Nurgazizova, G.N. Nurymkhan, A.S. Kambarova, L.S. Bakirova
Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinki Street, 20 A
*e-mail: asenova.1958@mail.ru

APPLICATION OF FUNCTIONAL BIOPRODUCTS OF PLANT AND ANIMAL ORIGIN IN THERAPEUTIC AND PREVENTIVE NUTRITION

This article examines the issue of creating functional food products, in particular boiled sausages enriched with iodine, and increasing their nutritional value within the framework of the National Project for the Development of the Agro-industrial complex of the Republic of Kazakhstan for 2021-2025. During the research, the chemical, amino acid and energy composition of the products were analyzed, as well as their functional and technological properties were studied. The results of the experiment showed that the first version of the formulation surpasses the others in terms of protein, calcium and iodine content. In addition, the article discusses the technological foundations of the use of plant and animal raw materials for the production of functional biological products with a therapeutic and preventive focus. Functional food products are specially modified products that, unlike traditional products, have a positive effect on health. Their main difference lies in the presence of biologically active additives included in the formulation. Therapeutic and prophylactic products help to replenish the deficiency of biologically active substances in the body, support the immune system, help neutralize toxins and eliminate them from the body. The article suggests three main approaches to creating such products: adding special components to widespread products, adapting the formulation of standard products for functional purposes, and modeling completely new products.The results obtained during the study confirm the high nutritional and biological value of the developed sausage products. The study proves that functional foods can be effectively used to promote health, prevent diseases, and optimize the nutritional structure of the population.

Key words: *therapeutic and preventive products, functional biological products, amino acid composition, plant component, nutritional and biological value.*

Авторлар туралы мәліметтер

Бахыткуль Кажкенқызы Асенова* – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ технологиясы» кафедрасының профессоры; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-8707-9725.

Алмагуль Нургазезовна Нургазезова – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: almanya1975@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5632-638X.

Гулнур Несиптаевна Нурымхан – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: gulnun@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Арай Сагинбекқызы Камбарова – PhD, «Тамақ технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а., «Шәкәрім университеті» КЕАҚ, Қазақстан; e-mail: kambarova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4289-3818.

Лайла Сапарбаевна Бакирова – 8D07202 «Тағам қауіпсіздігі» білім беру бағдарламасының докторанты, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: bakirova2010@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3474-4775.

Сведения об авторах

Бахыткуль Кажкеновна Асенова* – кандидат технических наук, профессор кафедры «Пищевая технология»; Шәкәрім университеті, Казахстан; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-8707-9725.

Алмагуль Нургазевна Нургазезова – кандидат технических наук, ассоц.профессор кафедры «Пищевых технологий», Шәкәрім университеті, Республика Казакстан; e-mail: almanya1975@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5632-638X.

Гулнур Несиптаевна Нурымхан – кандидат технических наук, ассоц.профессор кафедры «Пищевых технологий», Шәкәрім университеті, Республика Казакстан; e-mail: gulnu-n@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Арай Сагинбековна Камбарова – PhD, и.о ассоцированного профессора кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университеті, Казакстан; e-mail: kambarova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4289-3818.

Лайла Сапарбаевна Бакирова – докторант образовательной программы 8D07202 - «Пищевая безопасность», Шәкәрім университеті, Казахстан; e-mail: bakirova2010@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3474-4775.

Information about the authors

Bakhytkul Asenova* – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Technology; Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-8707-9725.

Almagul Nurgazezova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Product Production Technology and Biotechnology»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: almanya1975@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5632-638X.

Gulnur Nurymkhan – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technologies, Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: gulnu-n@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Arai Kambarova – PhD, Acting Associate Professor of the Department of «Food Technology», Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: kambarova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4289-3818.

Laila Bakirova – doctoral student of the educational program 8D07202 «Food Safety», Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: bakirova2010@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3474-4775.

Редакцияға енуі 12.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 26.06.2025
Жариялауға қабылданды 27.06.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-28

CC BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 61.71.31

Б.М. Силыбаева, Р.Ұ Ашакаева, Ж.Т. Букабаева, Ш.Т. Кырыкбаева*, Н.С. Кунанбаева
Alikhan Bokeikhan University,
071411, Республика Казахстан, г.Семей, ул. Мәңгілік Ел 11,
*e-mail: kyrykbaeva.shynar@mail.ru

СҮТ САРЫСУЫНАН ТҰРМЫСҚА ҚАЖЕТТІ ЖУҒЫШ ЗАТ ӨНІМДЕРІН АЛУ

Аңдатпа: *Қазіргі таңда өзекті мәселе болып табылатын сан алуан сүт өндірісі орындарының екіншілік қалдық өнім ретінде белгілі, сарсысуды өндірістік жағдайда адамға қажетті өнім ретінде пайдалану бағыттарын іздестіру жолдары қарастырылды. Ол үшін жергілікті жерлердегі сиыр сүтінен бөлініп алынған ірімшіктің, сырдың сарысуларын қолдана отырып, консистенциясы қатты екі түрлі сабын мен консистенциясы қоймалжың келген екі түрлі паста өнімдері табиғи таза өсімдік майы ретінде белгілі кокос және пальма майлары негізінде жасалынды. Сарысусыз екі май негізінде алынған қатты сабын өнімдерін қолдана отырып, құрамындағы сарысудың мөлшері 76,4% құрайтын қоймалжың жуғыш паста алынды. Алынған өнім түрлері үй тұрмысының әртүрлі салаларында жуғыш заттар ретінде қолдану қажеттілігіне байланысты ұсынылады. Сарысулы паста түрлерін үй тұрмысында жуғыш зат ретінде тиімділігіне байланысты pH көрсеткіші, сабындануы немесе көпіргіштігі, сақталу ұзақтығы және органолептикалық қасиеттеріне байланысты талдау жұмыстары әртүрлі әдістерді қолдануы арқылы жүзеге асырылды. Зерттеу жұмысының соңғы нәтижелері бойынша, алынған барлық өнімдердің сапалық*

қасиеті зертханалық жағдайда химиялық ластанған құрал-жабдықтар мен қатар тұрмыста күнделікті қолданылатын әртүрлі деңгейдегі майлы, ластанған жабдықтарды тазалау мақсатында қолдану тиімділігі тексеріліп, оң бағаланды.

Түйін сөздер: *сүт сарысуы, жуғыш заттар, сабын, сарысулы пасталар, кокос және пальма майлары, көпіргіштік.*

Кіріспе

Сүт шаруашылығы халық шаруашылығында ең кеңінен тараған және халықтың күнделікті ең көп тұтынатын тағам өнімі болып саналды. Сүт өнімдерінен қатық, ірімшік, йогурт, құрт және т.б. ашыту процесі кезінде өте жоғарғы мөлшерде сүттің екіншілік өнімі ретінде сарысу бөлінеді. Сүттің сарысуы өте үлкен сүт өнімдерімен айналасатын шаруашылықтарда көбінесе қалдық ретінде су көздеріне немесе далаға төгіледі. Бұл қалдық ретінде далаға төгілетін сарысу иістенеді, шіриді қоршаған ортаның ауа құрамын бұзады және маңайындағы белгілі бір пайдалы тірі организмдердің тіршілігін жояды. Осыған байланысты бүкіл дүние жүзінде сүт өнімдерінің қалдықтары ретінде сарысуды биотехнологиялық екіншілік өңдеуден өткізіп, оның қолдану жолдарын қарастыру жұмыстары жүргізілуде. Қазіргі таңда сарысуды шарауашылық салаларында қолдану деректеріне байланысты басылымдарда көрсетілген көрсеткіштер бойынша, дүние жүзінде сарысудың тек 20-30 пайызы ғана қайта өңдеуден өткізіледі [1].

Сүттің құрамындағы 60% құрғақ заты сарысуға өтеді және оның 30% белоктардан тұрады. Сарысудың құрамы негізінен сауылатын малдың жылдың қай мезгілде сауылғанына, жем-шөбіне тікелей байланысты. Сарысудың негізгі құрамы, мысалы 100 грамм сүттің құрамында лактоза 4,66 мг (71,7 %), белокты заттар 0,91 мг (14%) және минеральды заттар 0,50 мг (7,7%), май 0,37 мг (5,7%) болады [2]. Сүттің құрамында құрғақ мөлшерде сарысудың мөлшері 50% құрайды және оның құрамында 200 астам қосылыстар бар екендігі анықталған. Олардың қатарына лактоза, тонкодиспергенді сүт майы, еритін азоттық қосылыстар мен минералдық заттар, витаминдер, ферменттер мен органикалық қосылыстар жатады. Ұйытылған сүттің құрамындағы микроорганизмдер қышқылдар мен ферменттерді түзіп, сүттің ірімшік пен сарысуға бөлінуі процесін тудырады. Сарысудың негізі қасиеттеріне құрамындағы бағалы заттардың мөлшерлерінің жоғарылығы, зиянсыздығы және биологиялық тұтастығы жатады. Бірақта, сарысуды екіншілік өңдеуден өткізу жұмысы төмен деңгейде жүргізіледі, себебі бұлардың сақталу ұзақтығы 12 сағаттан аспайды. Бұл өнімді технологиялық қолданысқа енгізуге арналған бағасы қымбат аппараттарды қолдану кез келген шаруашылықта тиімділігі төмен деп есептеледі [3]. Соған қарамастан, сарысуды қазіргі таңда құрамындағы әртүрлі биологиялық бағалы заттарына байланысты нан ашытуда, кондитерлік шаруашылықта, мал азығына қоспа ретінде, сарысулы сусындар алуда, верми шаруашылығында (әртүрлі қалдықтармен құрттарды мысалы *Eisenia fetida* қоректендіру) диеталық және емдік өнімдер ретінде қолданылады. Бұл екіншілік өнімді нан және ет шаруашылықтарында, балмұздақ, әртүрлі сыр және сусын алуда да пайдалынылады [4,5].

Қазіргі кезеңде косметалогия индустриясының қарқынды дамуына байланысты, шығаратын әртүрлі өнімдер түрлеріне халықтың сұраныстары артуда. Ең негізгі косметология саласында қойылатын талаптардың қатарына, шығарылатын өнім түрлерінің табиғи таза заттардан алынуы қажеттілігі жатады. Себебі қазіргі кезде қолданыстағы көптеген дене күтіміне қажетті синтетикалық химикаттарды қосу арқылы алынған косметикалық өнімдердің адамның денсаулығына зиянды жақтары жоғары. Осыған байланысты, табиғи таза өнім ретінде, жергілікті жерлерде сүт шаруашылығында екіншілік өнімі ретінде белгілі сарысудан үй тұрмысында тазартқыш заттар ретінде ұсынылатын сабын мен паста алуға байланысты зерттеу жұмыстары жүргізілді. Шетел ғалымдарының зерттеу жұмыстарында сарысу қосылған сабынның антибактериалдық қасиетіне стафилококкалар тұқымдасына жататын грамм оң бактерияларының арасында пневмония, менингит, әртүрлі іріңді тері ауруларын туғызатын шар тәрізді стафилоккокалар туысына жататын *Staphlococcus aureus* бактериясының өсуін тежейтін қасиетінен басқа, адам терісінің тез қартаюуынан қорғайтын қасиеті бар екендігі анықталған [6,7]. Бір топ авторлардың зерттеу жұмысында гидролизденген сүт сарысуынан шаш жуатын шампунь мен ваннада жуынуға қажетті фитоминералды комплекс ретінде қолдануға байланысты жүргізген санитарлық-химиялық және токсикалогиялық зерттеу көрсеткіштері оң нәтиже берген. Терінің қышқылды-сілтілік балансының қалыпқа келуіне,

шаштың структурасының жақсаруына және өсуіне әсер еткен. Косметикалық өнім ретінде сабынға гидролизденген сүт сарысуы мен сыра суслосын қосу арқылы алынған шампуннің дерматоскопиялық әсері ерікті – пробанттарға қолдану арқылы анықталған. Айран мен ірімшік сарысуынан алынған қатты сабынды *Staphlococcus aureus* бактериясының өсуін тежеу үшін қолданылған. Зерттеу жұмысының нәтижесінде ірімшік сарысуынан алынған сабының pH көрсеткіші, айран сарысуынан төмен болған, сонымен қоса антибактериалдық қасиеті жоғары екендігі көрсетілген [8-10].

Жалпы Қазақстанда сүт өндірісі саласы жылдан жылға көбеюде. Қазіргі уақытта біздің елімізде жалпы сүт өндіретін көптеген цехтер мен кәсіпорындар жұмыс жасайды. Жылына 5 млн тоннаға жуық сиыр сүті қолданылады. Сонымен қатар, жергілікті тұрғындар қазіргі уақытта ешкі, түйе, қой сүттерінен сыр, йогурт, ірімшік, айран, құрт және т.б. тағам өнімдерін алады. Аталған өнімдерді өңдеу технологиясына сәйкес жүздеген ,мыңдаған литр сүт өнімінің екіншілік қалдықтары ретінде бөлінген сарысулары, далаға төгіледі. Ежелден бері қазақтар сүттің сарысуын шашты өсіретін, жылтырататын қасиеттеріне байланысты оны таза күйінде шаш жууда, тері илеуде, өте кірленген ыдыстарды тазалау мақсатында қолданған. Бірақта сақталу ұзақтығы қысқа (тез быршып ашиды) болуына қарай күнделікті қолдану мүмкіндігі шектеулі екендігі белгілі. Осыған орай, қазіргі кезде сүт шаруашылығымен айналасатын барлық өнеркәсіп орындарының басты міндеттерінің қатарына, сүттің ашу процесі кезінде бөлінетін сарысуды белгілі бір мақсатта пайдалану жолдарын қарастыру болып табылады. Осыған байланысты, бұл жұмыс сарысудан адам денсаулығына пайдалы табиғи таза күнделікті қолданысқа қажетті өнім түрлерін алу және қолдану жолдарына байланысты жүргізілді. Зерттеу жұмысында алынған жобаның негізгі мақсатына байланысты үй тұрмысында тазартқыш ретінде қолданатын өнім біріншіден табиғи таза өнім болуына, екіншіден жергілікті жерден алынған қолжетімілігіне, экономикалық жағынан тиімділігіне, үшіншіден адам организміне қауіпсіздігіне байланысты қарастырылды.

Зерттеу әдістері

Лабораториялық жағдайда үй тұрмысында қолданатын кокос және пальма майларынан қатты сабын түрлері алу жұмыстары МЕМСТ 30266-2017 (қатты шаруашылық сабыны); МЕМСТ 790-89-2024 (Қатты тұрмыстық сабын және иісті сабын. Қабылдау ережелері және өлшеу әдістемесі) сабын алу технологиясына сәйкес жүргізіліп алынды. Зерттеу жұмысына қажетті сарысу жергілікті сүт өнімдері кәсіпорындары өндіретін сүзбе және ірімшік өнімінің қалдығы сарысу немесе екіншілік өнім ретінде белгілі. Пасталар мен қатты сабындар өнімдерінің негізі ингредиенттері (рафинатталмаған) пальма мен кокос майлары дүниежүзілік сауда орталықтарында тамақ өнеркәсібінде, косметалогияда мен фармацептикада кеңінен қолданатын табиғи өсімдік майы негізінде жүргізілді.

Екі түрлі кокосты және пальма майлары негізінде алынған сабындардың құрамына 74,6% сарысу мөлшерін қосу арқылы консистенциясы қоймалжың екі түрлі жуғыш паста алынды. Ірімшік өнімдерінің қалдығы ретінде белгілі сарысуды қосу арқылы алынған паста өнімдерінің органолептикалық қасиеттерін анықтаумен қатар, pH мөлшері және көпіршіктерінің биіктігі сияқты көрсеткіштері тестіленді.

Косметалогияда қолданатын заттардың pH дәрежесі, адам терісіне сіңімділік қасиетін анықтайтын көрсеткіштер қатарына жатады. Кез келген косметикалық өнімінің pH -ның жоғары болуы адам терісінің қызаруы, түлеп түсуі және қатты құрғап кетуін туғызады. Яғни, ұсынылатын өнімдердің өте жоғары pH көрсеткіші адам терісіне жағымсыз әсер етеді. Осыған байланысты, алынған өнімдердің pH мөлшерін анықтау әдісі pH-метр 150 МИ құрлығысын қолдану арқылы жүзеге асырылды. Алынған өнімдерден 1 гр мөлшері (үгітіп және езіп) алынып, стаканға салып оның үстіне 100 мл дистилденген су қосып толық ерігенге дейін араластырылды. Шетелдік және Қазақстандық стандартық көрсеткіштерінде қолданыстағы сабын түрлерінің pH деңгейі 9-12 арасында белгіленген. Сабын мен пастаның көпіршіктенуі оның құрамындағы ингредиеттерге тікелей байланысты. Жуғыш заттардың эмульсиялық тұрақтылығы жоғары болуына байланысты, оның сақталу ұзақтығыда жоғары болады. Ross-Miles әдісі (ASTM D1173-07) немесе цилиндірілік әдіс жуғыш заттардың көбіктену қасиеттерін анықтау үшін кеңінен қолданылады. Тәжірибе барысында белгілі бір мөлшердегі (мысалы, 1 мл) сынама дистилденген суға қосылып, араластырылады. Содан кейін пайда болған көбіктің биіктігі өлшенеді. Бұл әдіс көбіктену қабілетін сандық түрде бағалауға мүмкіндік береді.

Алынған сарысусыз сабын мен сарысулы қоймалжың келген пасталар түрлерінің көпіршіктену дәрежесін анықтау үшін 1 гр мөлшерін пробиркаға салып үстіне 10 мл

дистилденген су құйылды. Келесі этапта алынған гомогенизациялық сынамаларды қатты шайқалып араластырылды. Пайда болған көпіршіктің биіктігі сызғыш арқылы өлшенді. Сарысулы алынған паста өнімдерін тестілеуде көпіршіктену дәрежелері 8-11 см аралығында болды.

Зерттеу нәтижелері

Сүттің екіншілік өнімінен алынған сарысуды тұрмыстық мақсатта пайдалануға арналған зерттеу жұмыстары 2024-2025 жылдар аралығында жүргізілді. Зерттеу жұмысының алғашқы кезеңінде лабораториялық жағдайда сабын алу рецептурасына сәйкес, ең бірінші сарысусыз екі түрлі майды қолдану арқылы қатты сабын түрлері алынды. Әртүрлі май түрлерін қолдану арқылы алынған сабынның құрамындағы кокос пен пальма майларының, натрий гидрооксиді, мұзды су мен судың бірдей мөлшерлері қолданылды (1 кесте).

Кесте 1 – Сабын алу рецептурасына сәйкес кокос және пальма майларынан алынған сабындардың физико-химиялық құрамы

№	Сабынға қажетті алынған май түрлері	Май мөлшері, (г)	NaOH мөлшері, (г)	Мұзды су, (г)	Су, (мл)
1	Кокос майы	185	33,5	19	18
2	Пальма майы	185	33,5	19	18

Яғни, екі түрлі кокос және пальма майы негізінде сабын алу процесі сарысу (қосымша сұйықтық) қолданылмай жүзеге асырылады. Алынған негізгі өнім – консистенциясы қатты сабын. Бұл жұмыс ҚР қолданыстағы стандарттарына – МЕМСТ 30266-2017 («Тұрмыстық қатты сабын. Техникалық шарттар») және МЕМСТ 790-89-2024 («Сабын. Қабылдау ережелері мен сынау әдістері») – сәйкес жүргізілді.

Зерттеу жұмысының келесі бағытына сәйкес, лабораториялық жағдайда сарысусыз алынған кокос және пальма майларынан алынған сабындар түрін сарысулы паста алуда негізгі өнім ретінде қолданылды. Себебі консистенциясы қоймалжың келген сарысулы пастаны алу мүмкін болмады. Эксперимент барысында пальма, кокос майлары, натрий гидрооксиді, мұзды су мен суды қосу кезінде сарысу бір-бірімен араласпай «іру» немесе фазалардың бөлінуі жүрді, яғни эмульсиялану (гомогенизациялау) процесі жүрмеді. Осыған байланысты пастаның негізгі шикізаты ретінде кокос және пальма майлары қосылған сарысусыз қатты сабын түрлері негізінде жуғыш паста алынды.

Жуығыш паста алу үшін лабораториялық жағдайда кокос немесе пальма майларынан алдын-ала алынған сабындардан (сарысусыз) 100 грамм алып, ол өте ұсақ бөлшектерге үгітілді. Келесі кезекте ірімшіктен бөлініп алынған 300 мл сарысуды 100^0С температурада 5 минут аралығында қайнатылды, ол суытылып жылы күйінде үгітілген сабынның үстіне құйылып, заттардың дұрыс гомогенизациялау процесі жүру үшін жарты сағат уақыт аралығында мұқият арастырылды. Үй тұрмысында әртүрлі заттарды тазарту мақсатында қолданатын консистенциясы қоймалжың келген (екі түрлі сарысулы кокосты паста мен сарысулы пальмалы паста) өнімдерінің рецептуралары жасалды (2 кесте).

Кесте 2 – Кокос және пальма майларына сарысуды қосу арқылы үй тұрмысында қолданатын паста түрін алу рецептурасы

№	Қолданған сабын түрі	Алынған сабын үгіндісінің мөлшері, гр	Сүттің сары суының мөлшері (мл)	Глицирин (мл)	Пастаның құрамындағы сарысудың пайыздық мөлшері %
1	Кокос майынан алынған қатты сабын	100	300	2	74,6
2	Пальма майынан алынған қатты сабын	100	300	2	74,6

Пастаны жуғыш зат ретінде қолдану кезінде адамның қолына жағымды әсер етуі үшін, алынатын өнімге 2 мл глицирин қосылып, ұзақ уақыт араластырылды. Алынған пастаның консистенциясы қоймалжың және көпіргіштігі өте жоғары болды. Сарысулы пальма мен кокос майларынынан алынған сабын құрамына енгізу арқылы алынған пастаның құрамындағы сарысудың мөлшері 74,6% құрады

Алынған өнімдердің сапалық сипаттамалары (көбіктену деңгейі, pH көрсеткіші, сыртқы түрі мен тұрақтылығы) зертханалық жағдайда талданып, тұрмыстық қолдануға жарамдылығы дәлелденді.

Кокос және пальма майларын қолдану арқылы алынған сабынға 74,6% сарысу қосу нәтижесінде алынған екі пастаның органолептикалық қасиеттері мен физикалық сипаттамалары арасында айтарлықтай айырмашылықтар анықталды (3 кесте).

Кесте 3 – Сүт сарысуын қосу арқылы кокос және пальма майларынан алынған пастаның органолептикалық көрсеткіштері

№	Пастаның түрі	Пастаның түсі және иісі	Консистенциясы	pH көрсеткіші	Көпіргіштігі (см)	Сақталу ұзақтығы
1	Кокос майынан алынған паста	Ақтүсті, сарысу исі сәл сезіледі	Қоймалжың	10,64	11	2 ай
2	Пальма майынан алынған паста	Сарғыш түсті, сарысу исі төмен	Қоймалжың	11,05	8	2 ай

Кокос майы негізінде алынған құрамындағы сарысуы 74,6% құрайтын пастаның түсі ақшыл болып, сарысу иісі сәл ғана сезілді. Оның консистенциясы біркелкі қоймалжың және көпіргіштігі жоғары (11 см) болып шықты. Сонымен қатар, алынған өнімнің pH көрсеткіші 10,64-ке тең болып, бұл оның теріге жұмсақтау әсер ететінін көрсетті (1 сурет).

Сурет 1 – Сарысуды кокос майынан алынған сабын құрамына қосу арқылы алынған жуылғыш паста

Пальма майының негізінде алынған құрамындағы сарысуы 74,6% құрайтын пастаның түсі сарғыш болып, иісі айтарлықтай ерекшеленбеді. Оның консистенциясыда қоймалжың болғанымен, көпіргіштігі салыстырмалы түрде төмен (8 см) екендігін көрсетті. Бұл пальма майының құрылымдық ерекшеліктеріне байланысты болуы мүмкін. Сонымен қатар, оның pH көрсеткіші 11,05-ке тең болды.

Жалпы, екі пастаның да сақталу ұзақтығы 25^0C бөлме температурасында ашық күйде 2 ай мерзімін құрады. Сақталу ұзақтылғы сенсорлық әдіс арқылы 7 күнде 1 рет сыртқы түрі, иісі, түсі, көпіршіктенуі, қолмен жанасуы сияқты негізгі көрсеткіштері бойынша 2 ай бойы жүргізілді.

Экономикалық тұрғыдан алғанда, пальма майы кокос майына қарағанда арзан болғанымен, кокос майынан алынған пастаның жуғыш қасиеттері мен қолайлы органолептикалық ерекшеліктері жоғары екендігі белгілі болды.

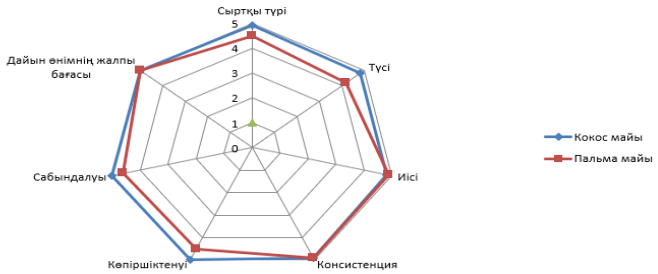
Құрамына сарысу қосылған констенциялары қоймалжың келген паста өнімдері экологиялық жағынан таза, адамның денсаулығына пайдалы өнім ретінде ұсынуға болады. Бұл өнімдердің құрамындағы пальма мен кокос майлары теріні жұмсартатындығы белгілі. Ал сабын мен пастаға қосылған сарысудың құрамындағы белоктар мен минералдық заттар адам қолдарының терісін қосымша қоректендіреді, жұмсартады және қосымша күтім береді. Сол сияқты, өнімнің құрамындағы белгілі мөлшердегі глицирин сабынның теріні құрғатып жіберуден қорғап, теріні ылғалдылығын ұстап тұруға көмектеседі.

Зерттеу нәтижелерін талдау

Кокос және пальма майларынан алынған сабынға 74,6% сарысу қосып, нәтижесінде органолептикалық қасиеттері мен физика-химиялық сипаттамалары арасында айтарлықтай айырмашылықтары бар екі жуғыш паста өнімдері алынды.

Жоғарыдағы зерттеу нәтижесіне байланысты алынған екі түрлі жуғыш паста өнімдерінің салыстырмалы түрде көпіргіштік немесе сабындану мөлшері жоғары екендігі айқындалды, әсіресе бұл көрсеткіш бойынша сарысулы кокос майынан алынған пастаның сарысулы пальма майынан алынған пастамен салыстырғанда көпіргіштігі өте жоғары (11 см) болса, сарысулы пальма пастасының көпіргіштігі төмен (8 см) екендігі айқындалды. Соған қарамастан сабындану деңгейінің жоғары болуы консистенциясы қоймалжың келген бұл екі паста түрінің үй тұрмысында әртүрлі заттарды тазарту мақсатында қолдану мүмкіндігінің жоғары екендігін көрсетті. Алынған паста түрлерінің pH көрсеткіштерінің деңгейі кокос майы қосылған пастады – 10,64 ті көрсетсе, ал пальма майынан алынған пастада 11,05-ке тең болуы биотехнологиялық стандарттарға сәйкес екендігі анықтала отырып, оның адам терісіне зиянсыз екендігі белгілі болды.

Зерттеу жұмысының соңғы нәтижелеріне байланысты жуғыш пасталардың органолептикалық қасиеттерін 5 баллдық көрсеткіштерді қолдана отырып олардың арасындағы негізгі анайырмашылықтары айқындалды (сурет 2).



Сурет 2 – Сарысулы кокос және пальма майыларынан алынған паста түрлерінің органолептикалық көрсеткіштері

Ұсынылып отырған паста өнімдері, екіншілік өнім ірімшік сарысуын қолдану арқылы алынған табиғи өнім ретінде сапасы жоғары болды. Яғни жуғыш зат ретінде екі алынған өнімдердің көпіргіштігі жоғары және сақталу мерзімі ұзақ екендігі анықталды. Үй тұрмысының әртүрлі салаларында (ыдыс жууда, қол жууда әртүрлі майлы ыдыстарды тазалауда және т.б.) қолданатын экологиялық жағынан таза, экономикалық жағынан тиімді өнімдер ретінде ұсыналады.

Қорытынды

Зерттеу нәтижесінде үй тұрмысында жуғыш заттар ретінде қолдануға қажетті өнімдер алу үшін пайдаланылған ірімшіктің екіншілік өнімін болмаса қалдығын өндірісте қолданудың экологиялық жағынан таза әрі экономикалық жағынан тиімді екенідігі дәлелденді. Алынған өнімдер тек жуғыш заттар ретінде қолданумен қатар, адамның қолдарының терісін жұмсартатын (әсіресе сарысу мен глициринге байланысты) өнім ретінде де пайдасы жоғары. Сонымен қатар, құрамында зиянды химиялық қоспаларының болмауына байланысты экологиялық жағынан таза өнім ретінде пайдалануға болады.

Эксперименттік зерттеу нәтижесінде құрамында 76,4% сарысуы бар консистенциясы қоймалжың келген өнім жуғыш паста түрлерін қолданылуға ұсыналады.

Әдебиеттер тізімі

1. Сафонов М. Рациональная использование молочной сыворотки // Переработка молока. – 2016.
2. Лебедянцева Е.А. Переработка молочной сыворотки / Е.А. Лебедянцева, М.Н. Иванцова, И.С. Селезнева // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н.И. (1945-2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 09-13 декабря 2019 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – С. 469-472.
3. Золотарев М.С. и др. О переработке молочной сыворотки и внедрении наилучших доступных технологий // Переработка молока. – 2016. – № 7. – С. 17-197.

4. Охотников С.И. Об использовании молочной сыворотки в вермипроизводстве / С.И. Охотников, Т.В. Кабанова // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Селхоз науки. Экономические науки». – 2018. – № 2(4). – С. 48-52.
5. Пронина О.В. Современное состояние переработки молочной сыворотки / О.В. Пронина, К.К. Полянский // Переработка молока: технология, оборудование, продукция. – 2015. – № 5. – С. 32-33. URL: https://rucont.ru/efd/587679.
6. Preparation and antimicrobial activity of solid soap from kefir cheese wastewater / S.A. Estikomah et Al // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1317. – 2024. – 012028. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1317/1/012028.
7. The effect of kefir whey addition on soap characteristics / I. Helsy et al // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – № 434. – 012085. https://doi.org/10.1088/1757-899X/434/1/012085.
8. Study of the possibility of creating milk baths with phytomineral complex and hair shampoo based on hydrolyzed whey / V. Kaishev et al // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2021. – Т. 33. – P. 95-100.
9. Chikatueva M.A. et al. Innovative Technologies in Cosmetic Industry in Development of Biotechnology of Whey-Based Concentrates» // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 852. – 2021. – 012018. https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012018.
10. Estikomah S.A. et al. The Utilization of Whey Cheese Fermented with Kefir Grains as An Antibacterial Solid Bar Soap / Afr.J.Bio.Sc. – 2024. – № 6(Si2). – P. 664-671. https://doi.org/ 10.33472/AFJBS.6.Si2.2024.664-671.

References

1. Safonov M. Ratsional'naya ispol'zovanie molochnoi syvorotki // Pererabotka moloka. – 2016. (In Russian).
2. Lebedyantseva E.A. Pererabotka molochnoi syvorotki / E.A. Lebedyantseva, M.N. Ivantsova, I.S. Selezneva // Ehnergo- i resursosberezhenie. Ehnergoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyaemye istochniki ehnergii. Atomnaya ehnergetika: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, posvyashchennoi pamyati professora Danilova N. I. (1945-2015) – Danilovskikh chtenii (Ekaterinburg, 09-13 dekabrya 2019 g.). – Ekaterinburg : URFU, 2019. – S. 469-472. (In Russian).
3. Zolotarev M.S. i dr. O pererabotke molochnoi syvorotki i vnedrenii nailuchshikh dostupnykh tekhnologii // Pererabotka moloka. – 2016. – № 7. – S. 17-197. (In Russian).
4. Okhotnikov S.I. Ob izpol'zovanii molochnoi syvorotki v vermiproizvodstve / S.I. Okhotnikov, T.V. Kabanova // Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Selkhoz nauki. Ehkonomicheskie naukI». – 2018. – № 2(4). – S. 48-52. (In Russian).
5. Pronina O.V. Sovremennoe sostoyanie pererabotki molochnoi syvorotki / O.V. Pronina, K.K. Polyanskii // Pererabotka moloka: tekhnologiya, oborudovanie, produktsiya. – 2015. – № 5. – S. 32-33. URL: https://rucont.ru/efd/587679. (In Russian).
6. Preparation and antimicrobial activity of solid soap from kefir cheese wastewater / S.A. Estikomah et Al // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1317. – 2024. – 012028. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1317/1/012028. (In English).
7. The effect of kefir whey addition on soap characteristics / I. Helsy et al // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – № 434. – 012085. https://doi.org/10.1088/1757-899X/434/1/012085. (In English).
8. Study of the possibility of creating milk baths with phytomineral complex and hair shampoo based on hydrolyzed whey / V. Kaishev et al // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2021. – T. 33. – R. 95-100. (In English).
9. Chikatueva M.A. et al. Innovative Technologies in Cosmetic Industry in Development of Biotechnology of Whey-Based Concentrates» // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 852. – 2021. – 012018. https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012018. (In English).
10. Estikomah S.A. et al. The Utilization of Whey Cheese Fermented with Kefir Grains as An Antibacterial Solid Bar Soap / Afr.J.Bio.Sc. – 2024. – № 6(Si2). – R. 664-671. https://doi.org/ 10.33472/AFJBS.6.Si2.2024.664-671. (In English).

Б.М. Силыбаева, Р.У. Ашакаева, Ж.Т. Букабаева, Ш.Т. Кырыкбаева*, Н.С. Кунанбаева
Alikhan Bokeikhan University,
071411, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Мангилик ел, 11
*e-mail: kyrykbaeva.shynar@mail.ru

ПОЛУЧЕНИЕ БЫТОВЫХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ ИЗ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

В настоящее время актуальной проблемой является поиск направлений использования сыворотки – вторичного побочного продукта различных молочных производств – в качестве полезного продукта в промышленных условиях. С этой целью, используя сыворотку, полученную из коровьего молока при производстве творога и сыра в местных хозяйствах, были изготовлены два вида твёрдого мыла и два вида пастообразных моющих средств на основе натуральных растительных масел, таких как кокосовое и пальмовое масло. Применяя твёрдое мыло, полученное без добавления сыворотки, была создана паста с вязкой консистенцией, содержащая 76,4% сыворотки. Разработанные продукты рекомендованы к использованию в различных сферах бытовой жизни в качестве моющих средств. Эффективность паст на основе сыворотки оценивалась по показателям pH, степени омыления или пенообразования, сроку хранения и органолептическим свойствам с применением различных методов анализа. По результатам исследования, все полученные продукты продемонстрировали качественные характеристики и эффективность при очистке как лабораторного оборудования, загрязнённого химическими веществами, так и различных бытовых загрязнённых жирных поверхностей.

Ключевые слова: *сыворотка, моющие средства, мыло, сывороточные пасты, кокосовое и пальмовое масла, пенообразование.*

B.M. Silybaeva, R.U. Ashakaeva, Z.T. Bukabaeva, Sh.T. Kyrykbaeva*, N.S. Kunanbaeva
1Alikhan Bokeikhan University, Kazakhstan, Semey, 11 Mangylyk el street. 11
*e-mail: kyrykbaeva.shynar@mail.ru

OBTAINING HOUSEHOLD DETERGENTS FROM MILK WHEY

Currently, an important issue is exploring ways to utilize whey – a secondary by-product of various dairy production facilities – as a valuable product in industrial applications. For this purpose, whey extracted from cow's milk during local production of cheese and curd was used to create two types of solid soap and two types of viscous paste products, based on natural vegetable oils such as coconut and palm oil. By using solid soaps made without whey, a viscous detergent paste containing 76.4% whey was developed. The resulting products are proposed for use in various areas of household cleaning. The effectiveness of the whey-based pastes as cleaning agents was evaluated by analyzing pH levels, saponification or foaming capacity, shelf life, and organoleptic properties using a range of methods. According to the final research results, all obtained products demonstrated good quality and were found to be effective for cleaning chemically contaminated laboratory equipment as well as various greasy and dirty household surfaces.

Key words: *whey, detergents, soap, whey based pastes, coconut and palm oils, foaming capacity*

Авторлар туралы мәліметтері

Батияш Мукановна Силыбаева – «Қолданбалы биология» кафедрасының доценті, Alikhan Bokeikhan University, Қазақстан; e-mail: batiyashsilybaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8904-1754.

Рысгуль Улыбаевна Ашакаева – «Қолданбалы биология» кафедрасының аға оқытушы, Alikhan Bokeikhan University, Қазақстан; e-mail: ryskulkamara@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8501-0600.

Жанылхан Тусупжановна Букабаева – Alikhan Bokeikhan University, Семей қ, Қазақстан; e-mail: zhanilxan79@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1461-5407.

Шынар Тұрарбековна Қырықбаева* – Alikhan Bokeikhan University, Қазақстан; e-mail: kyrykbaeva.shynar@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7622-3978.

Нұргүл Сериковна Құнанбаева – «Қолданбалы биология» кафедрасының аға оқытушы, Alikhan Bokeikhan University, Қазақстан; e-mail: nskunanbayeva78@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-0693-9518.

Сведения об авторах

Батияш Мукановна Силыбаева – Alikhan Bokeikhan University, Казахстан; e-mail: batiyashsilybaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8904-1754.

Рысгуль Улыбаевна Ашакаева – Alikhan Bokeikhan University, Казахстан; e-mail: ryskulkamara@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8501-0600.

Жанылхан Тусупжановна Букабаева – Alikhan Bokeikhan University, Казахстан; e-mail: zhanilxan79@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1461-5407.
Шынар Турарбековна Кырыкбаева – Alikhan Bokeikhan University, Казахстан; e-mail: kyrykbaeva.shynar@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002- 7622-3978.
Нургуль Сериковна Кунанбаева – Alikhan Bokeikhan University, Казахстан; e-mail: nskunanbayeva78@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-0693-9518.

Information about the authors
Batiyash Mukanovna Silybayeva – Alikhan Bokeikhan University, Kazakhstan, e-mail:batiyashsilybaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8904-1754.
Rysgul Ashakayeva – Alikhan Bokeikhan University, Kazakhstan, e-mail: ryskulkamara@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8501-0600.
Zhanylhan Bukabayeva – Alikhan Bokeikhan University, e-mail: zhanilxan79@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1461-5407.
Shynar Kyrykbayeva – Alikhan Bokeikhan University, e-mail; kyrykbaeva.shynar@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7622-3978.
Nurgul Serikovna Kunanbayeva – Alikhan Bokeikhan University, Kazakhstan, e-mail:nskunanbayeva78@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-0693-9518.

Редакцияға енуі 11.04.2025
Өңдеуден кейін түсуі 15.05.2025
Жариялауға қабылданды 21.05.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-29

IRSTI: 65.59.03

BY 4.0
Check for updates

Zh. Atambayeva[1]*, S. Tumenov[2], G. Tumenova[2], A. Nurgazezova[1], G. Nurymhan[1]
[1]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinki str., 20a
[2]M. Kozybayev North Kazakhstan University,
150000, Kazakhstan, Petropavlovsk, 86 Pushkin Street
*e-mail: zh.atambayeva@mail.ru

EFFECT OF SPROUTED GREEN BUCKWHEAT ON ORGANOLEPTIC PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF MEAT CUTLETS

Abstract: *This study investigates the effect of sprouted green buckwheat (SGB) on the quality attributes of meat-based semi-finished products (cutlets). The primary aim was to evaluate the feasibility of incorporating SGB into traditional formulations to enhance sensory and structural characteristics. Meat blends were prepared by replacing horse and poultry meat with varying proportions (5%, 10%, 15%, 20%) of SGB. Organoleptic properties, including color, taste, consistency, flavor, and moisture, were assessed using a 5-point sensory scale. Microstructural analysis was also performed to observe distribution and integration of plant materials in the meat matrix. Results demonstrated that substitution up to 15% improved the texture and juiciness of cutlets, while 20% substitution negatively affected sensory quality. Microscopic images revealed enhanced structural uniformity with SGB inclusion. The findings support the potential of using sprouted green buckwheat as a functional plant-based ingredient to improve texture and consumer acceptability of meat cutlets without compromising quality. This study contributes to the development of low-calorie, nutritious semi-finished products with a balanced composition and functional properties.*

Key words: *horse meat, poultry meat, green buckwheat, mixed meat, meat and vegetable patties, quality food.*

Introduction

Semi-finished meat products continue to be in consistently high demand, especially products enriched with functional ingredients and plant components such as vitamins, minerals, antioxidants and other useful substances. In order to ensure the necessary structural and plastic properties of minced meat, flour is used in the formulation of chopped semi-finished products as a binding component. Replacing some of the meat raw materials, such as horse meat, with sprouted green

buckwheat and flour from it can help enrich the product with nutrients that are not typical for traditional meat raw materials [1].

In this work, the organoleptic and physico-chemical quality indicators of combined semi-finished meat products were studied, the formulation of which included sprouted green buckwheat and flour from it. Generally accepted methods of organoleptic and physico-chemical analysis were used for the research. The results showed that replacing 15% of the meat with sprouted green buckwheat improves the juiciness, softness and uniformity of the product. However, an increase in the content of sprouted green buckwheat to 20% had a negative impact on the taste, smell and color of semi-finished products, which confirms the need for a careful approach when changing the recipe proportions. In modern society, there is a growing consumer interest in semi-finished products with a high degree of readiness, which is associated with the need for convenient and quickly prepared products. Along with this, the popularity of products containing non-traditional ingredients with a unique vitamin and mineral composition and high nutritional value is increasing. Products with the addition of amaranth, chickpeas, pumpkin flour, flax and chia seeds, as well as various berries and fruits are increasingly found on store shelves [2, 3]. This phenomenon also applies to meat products. In particular, semi-finished products are the most suitable group of meat products for the introduction of innovative ingredients, as they are the easiest to integrate new components that can simultaneously have a positive effect on technological properties and improve the nutritional value of the product [4].

When developing recipes for semi-finished meat products, one of the key steps is the correct choice of the main ingredients that can effectively bind the components of the cutlet mass together. For this purpose, herbal supplements with a high content of proteins, dietary fiber and other useful substances are often used, among which flour occupies a special place. The introduction of various types of flour into the formulation of meat products not only helps to improve the consistency of meat mass, but also allows you to enrich the product with important nutrients such as vegetable protein, fiber, vitamins and minerals. In addition, the use of flour gives the product specific organoleptic characteristics that can significantly affect the taste, texture and appearance of the finished product. Buckwheat, corn, oatmeal, flaxseed flour and other types of vegetable flour are valuable sources of vegetable protein, which supports the healthy functioning of the body, as well as fiber, which contributes to the normalization of the digestive system. In addition, each of these types of flour has its own unique complex of vitamins and minerals, such as B vitamins, magnesium, iron, and potassium, which makes them an important part of the diet. The use of such additives not only improves the nutritional value of meat products, but also makes it possible to create more diverse and balanced products that meet the needs of consumers for a healthy and delicious diet [5].

Recently, unprocessed buckwheat groats have become the most popular, which differs from traditional processed ones not only in its pale green hue, but also in the presence of natural biologically active substances [6]. Green buckwheat and flour obtained from such cereals are a valuable source of vitamins and minerals necessary for the normal functioning of the body, while it is absolutely gluten-free and is a unique vegetable source of protein [7, 10]. This flour contains about 15% protein, 82% carbohydrates, most of which are complex sugars. Green buckwheat proteins have high biological value and are optimally balanced in amino acid composition, which distinguishes them from proteins of other cereals. In addition, buckwheat proteins are characterized by good digestibility, which makes buckwheat flour products especially valuable for dietary nutrition. The fat content in buckwheat flour is low – less than 4%, and the fiber and ash substances in the flour are isolated from the main organic compounds. Buckwheat flour is also a source of carbohydrates, essential amino acids, vitamins and minerals such as magnesium, zinc, iron, potassium, rutin, as well as natural antioxidants and B vitamins and vitamin E [8, 9]. The dietary fibers of buckwheat flour include pectin, lignin, cellulose and hemicellulose, which have beneficial cleansing and healing effects on the human body.

In addition, the functional and technological properties of buckwheat flour, such as its ability to bind water and retain fat, make it especially valuable in the food industry. Studies by Sturza et al. (2020) [8] have shown that the ability of buckwheat flour to retain moisture exceeds that of wheat flour, and its fat-retaining properties are comparable to those of wheat flour. These qualities make buckwheat flour an excellent ingredient for creating products with improved textural and nutritional characteristics.

Materials and methods

Materials

A total of 40 kilograms of boneless horse rump steaks (Musculus semimembranosus) (moisture 75%, protein 21%, fat 2.2%, ash 1.4%) from female Jabe horses (aged 24-28 months and fattened for six months), 10 kg of horse fat from the same carcasses, and 8 kg of chicken thighs (aged four months, moisture 72.5%, protein 23.2%, fat 3.2%, ash 1.15%) were sourced from a commercial market in Semey, Kazakhstan, within one hour of slaughter. After collection, the meat cuts were carefully trimmed of visible fat and connective tissue. The samples were then vacuum-sealed and stored at −20°C until further use. Fresh onion (Allium cepa), cabbage (Brassica oleracea var. capitata), salt, and green buckwheat (Fagopyrum esculentum) grains were bought from a local market, cleaned, washed, and separately packed in polyethylene bags, then stored at 4°C in a refrigerator until use. All reagents used in the study were of analytical grade unless stated otherwise. The experiment was conducted in the laboratories of the Food Production and Biotechnology Department at Shakarim University, Semey, Kazakhstan.

Preparation of Germinated Green Buckwheat (GGB) and Its Flour

Commercial green buckwheat (Fagopyrum esculentum) was obtained from a local market in Semey, Kazakhstan, and used for the study. The germination process involved cleaning the grains to remove impurities, washing them, and soaking them in water at 32-33°C for 20 min. The soaked grains were then germinated on water-soaked urethane foam at 23°C for 24 h in the dark, rinsing them thoroughly every 3 h and, if necessary, re-wetting the foam. After germination, the buckwheat grains were carefully removed and dried at 50°C for 24 h. The dried grains were finely ground using a laboratory mill and sieved through a <2 mm (10 mesh) sieve. The resulting germinated green buckwheat flour is white with a slight greenish tint and has a very fine texture. The flour was vacuum-sealed in PE/nylon film using a DZ-260PD vacuum packaging machine (Russia) and stored in a refrigerator at 4°C until required. The non-germinated buckwheat grains, used as a control, were dried at 50°C for 24 h, milled, and stored in a vacuum pack at 4°C. The antioxidant activity, total phenolic content, proximate composition, and pH of both germinated and non-germinated buckwheat flour were analyzed, with each test performed in triplicate. A flowchart of the buckwheat processing procedure is shown in Figure 1. The germination process lasted for seven days.

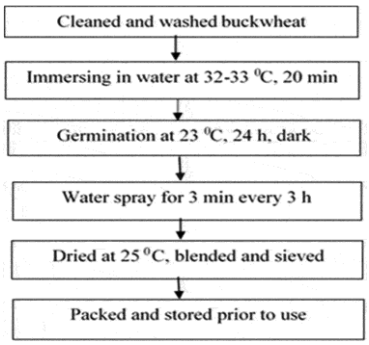


Figure 1 – The technological scheme of buckwheat processing

Antioxidant activity and TPC analysis of the flour

DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) is commonly used to evaluate antioxidant activity, as reported by the authors [5]. In the experiment, 10 mL of 80% CH_3OH was combined with 1 g of germinated green buckwheat flour (GGBF), shaken for 30 min at 25°C, and then centrifuged at 2000 rpm for 15 min. After centrifugation, 100 µL of the supernatant was added to 3.9 mL of DPPH (0.0025% w/v). The mixture was kept at 25°C for 1 h. Absorbance was measured at 517 nm using a UV-1800 Spectrophotometer (Shimadzu UV-1800, 115 VAC, Shimadzu, Japan) against methanol.

The TPC of the flour was determined using the method described by Beitâne et al. [9], with minor adjustments. In brief, 10 mL of CH3OH was combined with 1 g of flour, stirred at 300 rpm for 1 h, and then filtered. To a 10 mL tube, 0.5 mL of the extract, 0.5 mL of Folin-Cochlea reagent, and 7 mL of distilled water were added and incubated at 25°C for 8 min. Afterward, 1.5 mL of 2% Na_2CO_3 was added, and the mixture was diluted to 10 mL with distilled water. The mixtures were shaken thoroughly and left to stand in the dark at 25°C for 2 h. Absorbance readings were taken at 765 nm using a UV/Vis spectrophotometer with 1 cm quartz cuvettes. The results were expressed as a mg of gallic acid equivalent (GAE) per 100 g of flour.

Cutlet formulation and production

The formulation of the patties was developed in the Department of Technology of Food Production and Biotechnology of the Shakarim University, Semey, Kazakhstan. The formulations of the patties with different additions of GGBF are given in Table 1. The patties were made with a mixture of horsemeat (highest grade and grade I) and poultry meat without any connective or adipose tissue. The formulation process began by cutting horsemeat, horse fat, and chicken meat into small cubes, which were then scalded in boiling water for five minutes using sealed plastic bags. Following this, the scalded horsemeat, chicken thigh meat, horse fat, sprouted green buckwheat grains, cabbage, and onion were minced using a Moulinex HV6 – ME511H27 grinder (France) with 2-3 mm perforated plates. The ground mixture was combined with eggs, sprouted green buckwheat flour, salt, black pepper, and water, then homogenized in a ZB-8 mixer (China) until a uniform consistency was achieved. The resulting mixture was manually shaped into ten patties, each weighing 50 g with an approximate diameter of 8 cm and height of 1.5 cm. These were arranged on trays and frozen at −29 to −30°C for 1 h. Once frozen, the patties were vacuum-packed in 500 g portions (10 patties per pack), labeled, and stored at 4°C for further evaluations.

Table 1 – The formulation for control and test patties

Ingredients	Control	PEG5	PEG10	PEG15	PEG20
Horsemeat (grade I)	-	45	40	35	30
Beef 1 кат	75	-	-	-	-
Beef fat	7	-	-	-	-
Poultry meat	-	25	25	25	25
Horse fat	-	7	7	7	7
Germinated green buckwheat	-	5	10	15	20
Onion	5	5	5	5	5
White cabbage	-	5	5	5	5
Egg	5	5	5	5	5
Salt	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Black pepper	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Wheat flour (premium)	1,7	-	-	-	-
Germinated green buckwheat flour	-	1,7	1,7	1,7	1,7
Breadcrumbs (for coating)	5	-	-	-	-
Total	100	100	100	100	100

This product development initiative aligns with the evolving market demand for healthier, hybrid meat products. During formulation, special attention was given to balancing traditional sensory characteristics with modern consumer preferences – targeting individuals who seek to reduce meat intake without compromising on taste, texture, or convenience. The core ingredient of the patty is high-grade (Grade I) horsemeat, selected for its nutritional value and compatibility with plant-based components.

Organoleptic evaluation protocol

The quality of semi-finished meat products (cutlets) was evaluated based on organoleptic parameters, in accordance with the standards outlined in GOST 9959-2015. The organoleptic characteristics of the raw semi-finished products (cutlets) were determined by their appearance, including how they looked on the incision, their color (visually assessed through external inspection), and their odor. The finished products were analyzed after thermal processing in steam (at 100°C for 20 min), ensuring the internal temperature of the product reached 73°C. The appearance of the heat-treated products was examined, the type of minced meat was visually assessed in the section through external inspection, and the consistency was evaluated by pressing with fingers and chewing. Additionally, the smell (aroma) and taste were tested, including the intensity of the herbal supplement aroma and taste, as well as the presence or absence of any foreign odors, aftertaste, and lingering flavors. When developing the cutlet recipes, the taste and smell of the fully cooked products played a significant role. The results of the organoleptic evaluation were recorded using a dimensionless scale, expressed in points (a 5-point scale was employed in this study).

Microscopic Analysis of Cutlet Microstructure

To investigate the microstructural differences between control and vegetable-enriched meat patties, samples were prepared following standard histological protocols. Thin cross-sections of both

uncooked and cooked patties were taken and fixed in 10% neutral buffered formalin for 24 hours at room temperature. After fixation, the samples were dehydrated through a graded ethanol series, cleared in xylene, and embedded in paraffin. Sections of 5 μm thickness were cut using a microtome and mounted onto glass slides. For structural visualization, the sections were stained with hematoxylin and eosin (H&E), a standard protocol that allows for clear differentiation of cellular components. Stained slides were examined using a light microscope (Levenhuk MED D35T, USA) at various magnifications (×50 to ×1000) under both low and medium power to observe fiber arrangement, connective tissue distribution, and the presence of plant-derived particles. Images were captured using a digital imaging system connected to the microscope. Micrographs were assessed for the presence and morphology of muscle fibers, connective tissue, fat cells, and plant cell components such as nuclei and cell walls. The comparative structural integrity and tissue integration between control and test samples were used to evaluate the impact of sprouted green buckwheat on the microstructure of the cutlets.

Results and Discussion

Antioxidant activity and Phenolic Profile of GGB Flour

The results of antioxidant activity and total phenolic content of non-germinated green buckwheat (NGGB) and germinated green buckwheat flours (GGBF) are presented in Table 2. The results obtained showed increased antioxidant activity and TPC in the germinated green buckwheat flour after seven days of germination. This can be explained by increasing hydrolytic enzyme activity due to the germination process [10]. The high level of polyphenolic components in buckwheat shows a high level of antioxidant activity of germinated green buckwheat. The content of the phenolic compounds after germination showed 3.97 mg/g, which is possibly due to the breakdown of the cell wall during germination.

Table 2 – Antioxidant and Phenolic Profile of NGGBF and GGBF

	Parameter	NGGBF	GGBF	*p*-Value
Antioxidant activity	TPC	200.35±1.50	397.52±1.50	**
	DPPH, %	63.25±1.03	87.83±1.03	**

*All values are mean ± standard deviation of triplicates. p-value: ** (p<0.01), * (p<0.05)*

Determination of organoleptic parameters of semi-finished meat products

The steamed cutlets had a juicy texture, with a typical meat product aroma. The taste was meaty and balanced, with a pleasant mild hint of vegetable additives. As the proportion of vegetable additives in the minced meat increased, the quality of the cutlets changed – the texture became less juicy, and the taste and smell developed a characteristic aftertaste, with a more pronounced aroma from the vegetable additives. The evaluation score for the semi-finished products (cutlets) after heat treatment is provided in Figure 2.

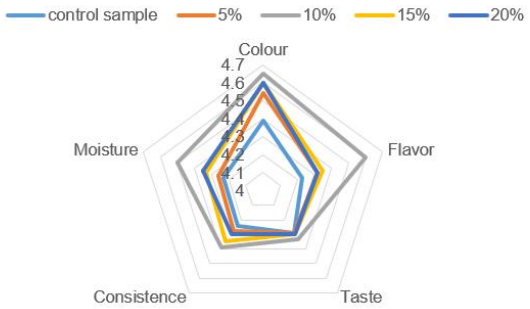


Figure 2 – Radar chart of organoleptic evaluation scores for meat-based semi-finished products with varying levels of sprouted green buckwheat flour substitution

Figure 2 illustrates the organoleptic evaluation of meat-based semi-finished products with varying levels of meat substitution using sprouted green buckwheat. The radar chart provides a comparative view of sensory attributes – colour, flavor, taste, consistency, and moisture – across five formulations. The patties with 10% substitution exhibited the most balanced and favorable profile, with consistently high scores in all categories, particularly in colour (4.65), flavor (4.6), and consistency (4.39). The 5% and 15% substitution levels also performed well, though the 20% substitution showed a slight decline in several parameters, suggesting possible sensory fatigue or

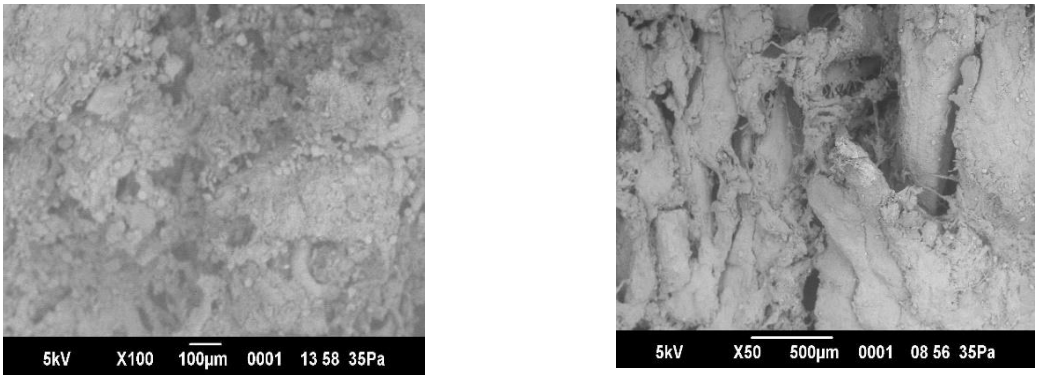
overpowering of plant-based notes. The control sample, while acceptable, demonstrated lower ratings across most attributes compared to the optimized formulations. This visual representation confirms that a 10% replacement level offers the best enhancement in overall sensory quality, indicating the optimal balance between traditional meat characteristics and the functional contribution of sprouted green buckwheat.

The presented organoleptic evaluation data show that the introduction of sprouted green buckwheat flour into the developed semi-finished products improves consistency, increasing the density, juiciness and softness of the product.

Microscopic analysis evaluation

The microstructure of meat patties without vegetable additives (control)

The microstructural evaluation of the control meat patties, which did not include vegetable additives, was conducted using light microscopy at varying magnifications. As illustrated in Figure 3A and 3B, the micrographs reveal well-preserved transverse and longitudinal muscle fibers, indicating minimal structural disruption during processing. Distinct connective tissue elements are visible, consisting of organized collagenous fibers and interspersed adipose cells. The boundaries between adjacent muscle fibers are clearly defined, and some fibers are seen fragmented into smaller segments, which is typical of mechanically processed meat. At medium magnification (Figure 3B), nuclei of muscle fibers and connective tissue cells remain intact and distinguishable, confirming the structural integrity of the muscle matrix. The absence of plant cell components further supports the control sample designation. These observations establish a microstructural baseline for evaluating the impact of sprouted green buckwheat incorporation in subsequent formulations, allowing for comparative assessment of tissue disruption, integration of non-meat components, and potential modifications in texture and consistency.

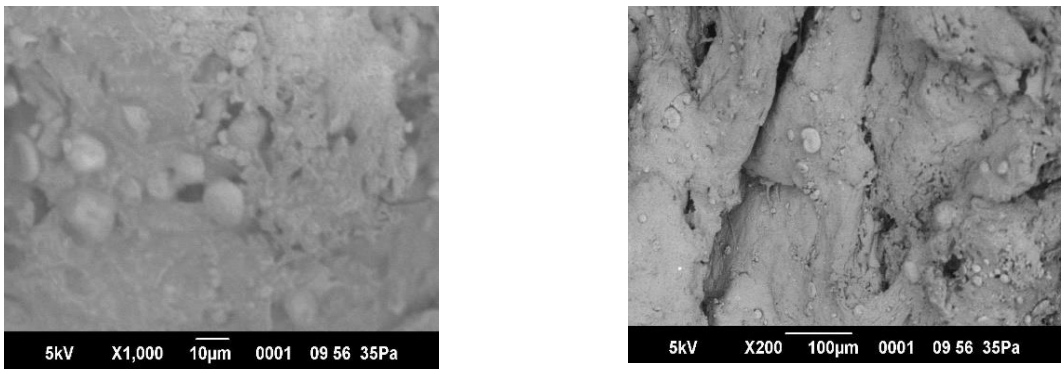


A B

Figure 3 – Microstructure of meat patties without vegetable additives:
(A) transverse view at ×100 magnification; (B) longitudinal view at ×50 magnification

The microstructure of meat patties with vegetable additives (test).

The microstructural examination of meat patties formulated with sprouted green buckwheat revealed distinct morphological features compared to the control. As depicted in Figure 4A and 4B, the transverse and longitudinal muscle fiber bundles exhibit expanded inter-fiber gaps, likely due to water displacement from the freezing and fixation process. Embedded within the meat matrix, numerous plant-derived structures are evident, including both large and small granules of sprouted green buckwheat powder and distinguishable plant cell nuclei. These plant nuclei are notably larger and more spherical in shape than the elliptical nuclei of animal muscle or connective tissue cells, allowing for unambiguous identification of plant inclusions. The connective tissue framework remains visible, though more diffusely distributed, and appears to accommodate the heterogeneous integration of vegetal material. The overall tissue organization is less compact, reflecting a looser association among muscle fibers and added plant particles. These microstructural patterns suggest that the incorporation of sprouted green buckwheat introduces significant physical heterogeneity, which may influence the texture, water retention, and overall consistency of the final product.



A B

Figure 4 – Microstructure of meat patties with vegetable additives:
(A) magnified view at ×1000 showing plant cell nuclei and particulate matter;
(B) general matrix view at ×200 illustrating tissue integration and distribution of sprouted buckwheat particles.

Conclusions

The incorporation of sprouted green buckwheat (SGB) into meat-based semi-finished products presents a promising strategy for enhancing nutritional quality and functional performance without compromising consumer acceptability. This study demonstrated that replacing up to 15% of meat content with sprouted green buckwheat and its flour improves key organoleptic properties such as juiciness, texture, and overall flavor, with 10% substitution offering the most favorable balance across all sensory attributes. Microstructural analysis confirmed the successful integration of plant-based components within the meat matrix, revealing distinct yet cohesive distribution of sprouted buckwheat particles among muscle fibers. Additionally, the antioxidant activity and total phenolic content of germinated green buckwheat flour significantly exceeded those of its non-germinated counterpart, supporting its role as a functional bioactive ingredient. These findings validate the technological feasibility of using SGB in the development of hybrid meat products and highlight its potential in creating health-oriented, sustainable alternatives aligned with modern dietary trends. Further studies may explore the impact of such formulations on shelf life, consumer perception, and large-scale processing stability.

References

1. Preferences of German Consumers for Meat Products Blended with Plant-Based Proteins / A. Profeta et al // Sustainability. – 2021. – № 650. https://doi.org/10.3390/su13020650.
2. Hartmann C. Consumers' Evaluation of the Environmental Friendliness, Healthiness and Naturalness of Meat, Meat Substitutes, and Other protein-rich Foods / C. Hartmann, P. Furtwaengler, M. Siegrist // Food Qual. Prefer. – 2022. – 104486. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104486.
3. Evaluation of Physicochemical, Antioxidant and Antimicrobial Properties of Chicken Sausage Incorporated with Different Vegetables / S. Ahmad et al // Ital. J. Food Sci. – 2020. – № 32. – P. 75-90.
4. Strategies to Increase the Shelf Life of Meat and Meat Products with Phenolic Compounds / P.E.S. Munekata et al // Adv. Food Nutr. Res. – 2021. – № 98. – P. 171-205. https://doi.org/10.1016/BS.AFNR.2021.02.008.
5. Effects of Replacing Soy Protein and Bread Crumb with Quinoa and Buckwheat Flour in Functional Beef Burger Formulation / F. Bahmanyar et al // Meat Sci. – 2021. – № 172. – 108305. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108305.
6. Nutritional and bioactive characteristics of buckwheat, and its potential for developing gluten-free products: An updated overview / S.A. Sofi et al // Food Sci Nutr. – 2022. – № 22, 11(5). – P. 2256-2276. https://doi.org/10.1002/fsn3.3166.
7. Is Buckwheat (Fagopyrum Esculentum Moench) Still a Valuable Crop Today? / A. Jacquemart et al // Eur. J. Plant Sci. Biotechnol. – 2012. – № 6(2).
8. Influence of Buckwheat and Buckwheat Sprouts Flours on the Nutritional and Textural Parameters of Wheat Buns / A. Sturza et al // Appl. Sci. – 2020. – № 10. – P. 7969. https://doi.org/10.3390/app10227969.

9. Phenolics Content in Buckwheat Flour / I. Beitâne et al // Proc. Latvian Acad. Sci. B. – 2018. – № 72(2). – P. 75-79. https://doi.org/10.2478/prolas-2018-0012.
10. Changes in Nutritional Composition, Enzyme Activities and Bioactive Compounds of Germinated Buckwheat (Fagopyrum Esculantum M.) under Unchanged Air and Humidity Conditions / P. Hung et al // Int. J. Food Sci. Technol. – 2021. – № 56. – P. 3209-3217. https://doi.org/10.1111/ijfs.14883.

Information about financing

This research was carried out within the framework of grant financing on the topic AP23484846 «Development of semi-finished meat products technology from environmentally friendly raw materials meeting modern food safety and healthy nutrition requirements», funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

Ж.М. Атамбаева[1*], С.Н. Туменов[2], Г.Т. Туменова[2], А.Н. Нургазезова[1], Г.Н. Нурымхан[1]
[1]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20а
[2]М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,
150000, Қазақстан, Петропавл қ., Пушкин к-сі, 86
*e-mail: zh.atambayeva@mail.ru

ӨНГЕН ЖАСЫЛ ҚАРАҚҰМЫҚТЫҢ ЖАСАЛҒАН ЕТ КОТЛЕТТЕРІНІҢ ОРГАНОЛЕПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ МЕН МИКРОҚҰРЫЛЫМЫНА ӘСЕРІ

Бұл жұмыста өнген жасыл қарақұмықтың (ӨЖҚ) еттен жасалған жартылай фабрикаттардың (котлеттердің) сапалық көрсеткіштеріне әсері қарастырылады. Негізгі мақсат – ӨЖҚ-ты дәстүрлі рецептураларға қосу арқылы органолептикалық және құрылымдық қасиеттерді жақсартудың орындылығын бағалау. Ет қоспалары жылқы еті мен құс етін 5%, 10%, 15% және 20% мөлшерде ӨЖҚ-пен ішінара алмастыру арқылы дайындалды. Органолептикалық қасиеттері – түсі, дәмі, консистенциясы, иісі мен шырындылығы – 5 балдық шкала бойынша бағаланды. Сонымен қатар, өсімдік компонентінің ет құрылымына таралуы мен кірігуін бақылау үшін микроструктуралық талдау жүргізілді. Нәтижелер көрсеткендей, 15%-ға дейінгі алмастыру котлеттердің текстурасы мен шырындылығын жақсартты, ал 20% алмастыру сенсорлық сапаға теріс әсер етті. Микроскопиялық бейнелер ӨЖҚ қосылғанда құрылымдық біркелкіліктің артқанын көрсетті. Алынған деректер өнген жасыл қарақұмықты ет котлеттерінің текстурасы мен тұтынушылық сапасын төмендетпей жақсартуға арналған функционалды өсімдік қоспасы ретінде қолдану мүмкіндігін растайды. Бұл зерттеу калориясы төмен, пайдалы, құрамында теңгерімді және функционалды қасиеттері бар жартылай фабрикаттарды жасауға ықпал етеді.

Түйін сөздер: *жасыл қарақұмық, жылқы еті, құс еті, ет қоспалары, қоректік заттарға бай котлеттер, сапалы өнім.*

Ж.М. Атамбаева[1*], С.Н. Туменов[2], Г.Т. Туменова[2], А.Н. Нургазезова[1], Г.Н. Нурымхан[1]
[1]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20а
[2]Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева
150000, Казахстан, г. Петропавловск, ул. Пушкина, 86
*e-mail: zh.atambayeva@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ПРОРОСШЕЙ ЗЕЛЕНОЙ ГРЕЧКИ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРУ МЯСНЫХ КОТЛЕТ

В данной работе рассматривается влияние пророщенной зелёной гречки (ПЗГ) на качественные показатели мясных полуфабрикатов (котлет). Основной целью было оценить целесообразность добавления ПЗГ в традиционные рецептуры для улучшения органолептических и структурных свойств. Мясные смеси были приготовлены, путем частичной замены конины и мяса птицы на ПЗГ в пропорциях 5%, 10%, 15% и 20%. Органолептические свойства, включая цвет, вкус, консистенцию, аромат и сочность, оценивали по 5-балльной шкале. Также проводился микроструктурный анализ для наблюдения за распределением и встраиванием растительного компонента в мясную матрицу. Результаты показали, что замена до 15% улучшила текстуру и сочность котлет, тогда как 20% – отрицательно повлияла на сенсорное качество. Микроскопические изображения показали улучшение структурной однородности при введении ПЗГ. Полученные данные подтверждают потенциал использования пророщенной зелёной гречки в

качестве функционального растительного ингредиента для улучшения текстуры и потребительских качеств мясных котлет без ущерба для качества. Это исследование способствует разработке низкокалорийных, полезных полуфабрикатов, со сбалансированным составом и функциональными свойствами.

Ключевые слова: *зеленая гречка, конина, мясо птицы, мясные смеси, котлеты, богатые питательными веществами, качественный продукт.*

Information about the authors

Zhibek Atambayeva – senior lecturer of the Department of Food Technology, Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7899-870X.

Serik Tumenov – Kozybayev University, Senior lecturer, Department of «Food Safety», Doctor of Technical Sciences, Corresponding member of the National Academy of Sciences of the Higher School of Kazakhstan; e-mail: sntumenov@ku.edu.kz.

Galia Tumenova – Kozybayev University, Senior lecturer, Department of «Food Safety», candidate of Technical Sciences; e-mail: g.tumenova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Almagul Nurgazezova – candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology, Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: almanya1975@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5632-638X.

Gulnur Nurymhan – Dean of the Research School of Food Engineering, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: gulnu-n@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Авторлар туралы мәліметтер

Жибек Манаповна Атамбаева – «Тамақ технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7899-870X.

Серик Ниязбекович Туменов – Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, «Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі» кафедрасының аға оқытушысы, техника ғылымдарының докторы, Қазақстан Жоғары Мектебінің Ұлттық Ғылым академиясының корреспондент-мүшесі; e-mail: sntumenov@ku.edu.kz.

Галия Тлеухановна Туменова – Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, «Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі» кафедрасының аға оқытушысы, техника ғылымдарының кандидаты; e-mail: g.tumenova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Алмагуль Нургазезовна Нургазезова – т.ғ.к., «Тамақ технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: almanya1975@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5632-638X.

Гулнур Несиптаевна Нурымхан – Тамақ инженериясы ғылыми-зерттеу мектебінің деканы, т.ғ.к., «Тамақ технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: gulnu-n@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Сведения об авторах

Жибек Манаповна Атамбаева – ст.преподаватель кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университеті, Казакстан; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7899-870X.

Серик Ниязбекович Туменов – Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, старший преподаватель кафедры «Безопасность пищевых продуктов», доктор технических наук, член-корреспондент Национальной академии наук высшей школы Казахстана; e-mail: sntumenov@ku.edu.kz.

Галия Тлеухановна Туменова – Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, старший преподаватель кафедры «Безопасность пищевых продуктов», кандидат технических наук; e-mail: g.tumenova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Алмагуль Нургазезовна Нургазезова – к.т.н, ассоцированный профессор кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университеті, Казакстан; e-mail: almanya1975@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5632-638X.

Гулнур Несиптаевна Нурымхан – декан исследовательской школы пищевой инженерии, к.т.н., ассоциированный профессор, Шәкәрім университеті, Казакстан; e-mail: gulnu-n@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Received 01.04.2025
Revised 05.05.2025
Accepted 19.06.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-30

CC BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 62.13.27

Т.А. Мухамедов[1*], Т.А. Байбатыров[2], Г.С. Сагитова[1], Н.А. Еріш[1], Ш.С. Габдулин[1]
[1]Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы
110000, Республика Казахстан, г. Костанай, ул. Байтурсынова, 47
[2]Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана
090009, Республика Казахстан, г. Уральск, ул. Жангир хана, 51
[*]e-mail: cheltob@mail.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЯСА ПРИ СОЗРЕВАНИИ

Аннотация: *Обзор систематизирует актуальные научные данные о микробиологической безопасности мяса в процессе сухого и влажного созревания. Рассматриваются риски, связанные с патогенными микроорганизмами (Salmonella spp., Listeria monocytogenes, Escherichia coli O157:H7, Yersinia spp., Staphylococcus aureus), а также с бактериями порчи (Pseudomonas spp., Brochothrix spp., Psychrobacter spp.), дрожжами и плесневыми грибами. Проведена классификация микроорганизмов по их функциональной роли: патогенные, порча-продуцирующие, условно-технологические и полезные. Установлено, что параметры вызревания – температура, относительная влажность, pH, скорость воздушного потока и активность воды – критически влияют на микробную динамику и безопасность продукции. Выявлены ключевые виды, включая Latilactobacillus sakei, Debaryomyces hansenii, Pilaira anomala, Candida zeylanoides, Helicostylum pulchrum, способствующие улучшению органолептических характеристик мяса. Описана эффективность инновационных подходов: применение щелочной электролизованной воды, композитных покрытий, заквасочных культур и метагеномного анализа. Обзор подчёркивает необходимость комплексного подхода к управлению микробиологическими рисками, включающего молекулярную идентификацию, гигиенический контроль и биотехнологические решения. Полученные данные формируют научную основу для оптимизации условий созревания, повышения безопасности и качества мясной продукции.*

Ключевые слова: *мясо, созревание, патогены, микроорганизмы, микробиомы, безопасность.*

Введение

В последние годы изучение микробиомов пищевых продуктов и окружающей среды привлекает все больше внимания ученых и специалистов в области пищевой безопасности. Микробиологическая контаминация остается одной из ключевых проблем мясной промышленности, влияя как на качество продукции, так и на ее безопасность для потребителя. В связи с этим понимание состава, динамики и взаимодействия микроорганизмов, присутствующих в мясе, на оборудовании, в воздухе и других элементах производственной среды, является важнейшей задачей для совершенствования технологий обработки и хранения мясных продуктов [1].

Основные аспекты актуальности исследования. Контроль за патогенными и условно-патогенными микроорганизмами (Salmonella spp., Escherichia coli O157:H7, Listeria monocytogenes, Campylobacter spp.) играет решающую роль в предотвращении вспышек пищевых инфекций. Заболевания, вызываемые патогенами, передающимися через мясо, представляют серьезную угрозу для здоровья потребителей. Изучение микробиомов позволяет не только выявлять пути контаминации, но и разрабатывать стратегии ее предотвращения.

Микроорганизмы, присутствующие в производственной среде, могут способствовать порче мясной продукции, что приводит к значительным экономическим потерям. Определение доминирующих микробных сообществ и изучение их метаболической активности позволит разработать более эффективные методы контроля и продлить срок хранения мясных продуктов.

Оценка микробиологического состояния воздуха, оборудования и рабочих поверхностей необходима для эффективного контроля санитарных условий. Метагеномные исследования окружающей среды позволяют выявлять потенциальные источники перекрестного загрязнения и разрабатывать более точные стратегии санитарной обработки.

Развитие современных методов молекулярной биологии, включая метагеномное секвенирование (NGS), ПЦР-диагностику и спектрометрию MALDI-TOF, открыло новые возможности для детального изучения состава и динамики микробиомов. Молекулярно-генетические технологии позволяют идентифицировать микроорганизмы, ранее не поддававшиеся культивированию, и исследовать их роль в пищевой цепи [2, 3].

Мясо проходит различные стадии обработки и хранения, в ходе которых микробиота трансформируется. Особенно важную роль микроорганизмы играют в процессе созревания мяса (aging), во время которого происходит формирование уникального вкуса и текстуры продукта. Однако влияние различных видов бактерий и грибов на качество мяса до конца не изучено. Определение состава микробиоты и выделение полезных микроорганизмов позволит оптимизировать процессы созревания и улучшить органолептические свойства конечного продукта [4].

Микробиологическая безопасность созревания мяса играет ключевую роль в обеспечении качества и безопасности продукта. Процесс созревания приводит к значительным изменениям в составе микробиоты, что может как положительно, так и отрицательно сказаться на конечном продукте. С одной стороны, благоприятные микроорганизмы, такие как молочнокислые бактерии и некоторые виды грибов (Penicillium, Debaryomyces), способствуют развитию характерного вкуса, аромата и текстуры мяса. С другой стороны, при неблагоприятных условиях возможно развитие патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, включая Salmonella spp., Escherichia coli O157:H7, Listeria monocytogenes, что представляет риск для потребителя.

Особое внимание уделяется контролю влажности, температуры и скорости воздушного потока в камерах созревания, поскольку параметры напрямую влияют на рост нежелательных микроорганизмов. Оптимизация условий и применение инновационных методов контроля микробиоты, включая использование биоконсервантов, антимикробных покрытий и мониторинг с помощью молекулярно-генетических методов, позволяют минимизировать микробиологические риски и продлить срок хранения продукта [5, 6].

Цель обзора – анализ современных исследований, посвященных микробиологической безопасности созревания мяса, выявление ключевых проблем и определение направлений для дальнейших исследований.

Материалы и методы

Материал, представленный в данном обзоре, создан на основе исследования результатов источников научных трудов. Системный процесс поиска проводился по базам данных Scopus и Web of Science. Поиск материалов осуществлялся по ключевым словам соответствующих статей с 2019 года до 1 апреля 2025 года. Отбор статей для обзора осуществлялся на основе названия и аннотации. Отобранные исследования подвергались комплексному анализу. Для расширенного охвата релевантной литературы список ссылок на связанные статьи был тщательно изучен вручную.

Результаты

Общие характеристики микробиомов: базовые знания

Исследование авторов [7] демонстрирует, что среды переработки могут быть значимым источником патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов, способных к перекрестному загрязнению мяса и мясных продуктов. Таксономические профили микробных сообществ изменялись по мере обработки сырья, что указывает на важную роль поверхностей, контактирующих с пищевыми продуктами, в формировании микробиома конечных продуктов. Некоторые бактериальные виды сохраняли высокую относительную численность на всех этапах производства, включая роды *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Brochothrix*, *Acinetobacter* и *Psychrobacter*. Среды обработки продемонстрировали значительное микробное разнообразие, частично совпадающее с микробиотой продукции. *Pseudomonas fragi* и *Pseudomonas sp.* выявлены во всех образцах и типах предприятий, тогда как *Brochothrix thermosphacta* и *Psychrobacter sp.* присутствовали в сырье, на контактных поверхностях (FC) и в конечных продуктах. Доминирующим видом исключительно в готовых мясных продуктах оказался *Latilactobacillus sakei*. Кроме того, среда переработки показала повышенное содержание генов устойчивости к антимикробным препаратам и факторов вирулентности по сравнению с сырьем и конечными продуктами. Для двух таксонов, связанных с консервированием и ферментацией мяса (*Staphylococcus equorum* и *Latilactobacillus sakei* соответственно), наблюдалась филогенетическая изменчивость,

коррелирующая с конкретными перерабатывающими предприятиями. Селекция специфических штаммов может влиять на органолептические свойства продукции, характерные для каждого предприятия.

Таким образом, результаты исследования дают наиболее детализированное на сегодняшний день метагеномное представление о микробиоме, процветающем в мясе, мясных продуктах и связанных с ними средах. Полученные данные создают основу для дальнейших исследований, направленных на более глубокое понимание функциональности микробиома и его потенциального влияния на качество и безопасность мяса.

Микробиологическая безопасность выдержанного мяса

Авторами [8] изучено влияние сухого вызревания говядины и влажного вызревания говядины, свинины и баранины на микробиологические риски и бактерии, вызывающие порчу. Микробиологические риски, которые могут присутствовать во всех видах выдержанного мяса, включают продуцирующие шигатоксин *Escherichia coli* (STEC), *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, энтеротоксигенные *Yersinia spp.*, *Campylobacter spp.* и *Clostridium spp.*. Плесневые грибы, такие как *Aspergillus spp.* и *Penicillium spp.*, способны вырабатывать микотоксины при благоприятных условиях. Однако их развитие можно предотвратить, поддерживая температуру поверхности мяса в диапазоне -0,5...3,0 °C, относительную влажность (RH) 75-85 % и скорость воздушного потока 0,2-0,5 м/с в течение до 35 дней. Основные бактерии, вызывающие порчу мяса, включают *Pseudomonas spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Enterococcus spp.*, *Weissella spp.*, *Brochothrix spp.*, *Leuconostoc spp.*, *Shewanella spp.* и *Clostridium spp.*. Согласно текущей практике, процесс вызревания мяса может влиять на микробиологическую нагрузку по сравнению со стандартной подготовкой свежего мяса. Выдержка в строго контролируемых условиях позволяет достичь аналогичных или даже меньших уровней микробиологических рисков и бактерий порчи мяса.

Таким образом, мероприятия, направленные на повышение микробной безопасности говядины сухой выдержки, основаны на рекомендуемых передовых практиках и результатах оценки эквивалентности.

Исследование [9] направлено на оценку инструментов управления процессом для обеспечения безопасности пищевых продуктов, определения критических контрольных точек, а также надлежащих гигиенических и производственных практик. В контролируемых условиях выдержки размножаться могут только Listeria monocytogenes и Yersinia enterocolitica, тогда как обычно отмечается снижение численности Salmonella spp. и Escherichia coli O157:H7. Количество энтеробактерий, как правило, уменьшается на поверхности мяса во время созревания. Таким образом, для гигиенической оценки производственного процесса ожидается уровень не выше, чем у незрелого мяса. Кроме того, различные исследования показывают, что общее количество бактерий и микроорганизмов порчи значительно увеличивается на поверхности мяса, при отсутствии видимых признаков порчи. Бактерии рода Pseudomonas постепенно замещают другие микроорганизмы в процессе созревания, поэтому общая мезофильная или психрофильная бактериальная нагрузка не является надежным показателем гигиены производства вызревшего мяса. Критическими параметрами контроля процесса являются температура, относительная влажность и вентиляция, которые необходимо отслеживать в ходе вызревания. По этой причине требуется использование специализированного сертифицированного оборудования для сухого вызревания, а производитель должен валидировать процесс.

Выявлен ряд научных потребностей, включая исследование эволюции популяций *L. monocytogenes* и *Y. enterocolitica*, а также микробиологии внутренних частей мяса, выдержанного в сухом состоянии.

Конкретные риски и управление безопасностью

Исследование авторов [10] посвящено анализу микробиологических изменений при сухом вызревании говядины, включающем хранение туш и (суб) первичных отрубов при низкой температуре и относительной влажности в течение длительного периода. Оценивались изменения численности Salmonella spp., Escherichia coli O157:H7 (продуцирующих шигатоксин) и Listeria monocytogenes в процессе сухого вызревания. Смесь патогенных штаммов была инокулирована на поверхность говяжьей вырезки, которая хранилась при четырех различных условиях (2 °C и 6 °C × относительная влажность 75 % и 85 %) в течение 42 дней. Количество Salmonella spp. и E. coli O157:H7 снизилось в процессе

вызревания, тогда как уменьшение численности L. monocytogenes происходило более медленно. Однако в конце вызревания численность L. monocytogenes увеличилась в постном мясе одной филе с pH > 6,0, что указывает на потенциальный риск роста данного патогена при определенных параметрах вызревания.

Таким образом, исследование демонстрирует влияние сухого вызревания говядины на динамику патогенных микроорганизмов. Выявлено снижение численности Salmonella spp. и Escherichia coli O157:H7, тогда как Listeria monocytogenes при определенных условиях могла сохраняться и даже увеличиваться. Полученные данные подчеркивают необходимость строгого контроля температуры, влажности и pH на этапе вызревания для обеспечения микробной безопасности продукта. Результаты исследования закладывают основу для дальнейшего изучения микробиологических рисков и оптимизации условий обработки мяса.

Исследование авторов [11] направлено на оценку выживаемости Listeria monocytogenes, Escherichia coli, Salmonella spp. и Staphylococcus aureus на внутренней поверхности камер сухого вызревания. Дополнительно рассматривалась обработка щелочной электролизованной водой (REW) для сокращения пищевых патогенов во время хранения мяса. Результаты показали, что условия внутри шкафа для сухого вызревания способствуют снижению бактериальной нагрузки на внутренней поверхности за короткий период (24 часа). Поверхностное высыхание, обусловленное относительной влажностью и потоком воздуха при низких температурах, играет ключевую роль в сокращении численности патогенов на поверхности мяса. Кроме того, подчеркивается важность скорости сушки. Однако, несмотря на прогнозируемый рост Listeria monocytogenes во время сухого вызревания, такие прогнозы считаются завышенными, поскольку не учитывают влияние конкуренции и инактивации бактерий. Аналогичный эффект может объяснить снижение количества выбранных бактерий на стальных поверхностях в данном исследовании, где сокращение микробной численности усиливалось отсутствием защитных органических материалов, в отличие от вызревшего мяса. Более выраженное влияние условий окружающей среды на снижение грамотрицательных бактерий по сравнению с грамположительными демонстрирует большую устойчивость грамположительных бактерий к внешним факторам.

Эффективность щелочной электролизованной воды (*REW*) для снижения численности *Salmonella spp.*, *E. coli*, *L. monocytogenes* и *S. aureus* на стальных поверхностях продемонстрирована путем прямого распыления. Кроме того, условия окружающей среды внутри шкафа во время вызревания способствовали значительному снижению бактериальной нагрузки, соответствующему приемлемым уровням загрязнения.

Географические исследования микробиомов и характеристик мяса

Исследование авторов [12] направлено на оценку влияния сухого и влажного вызревания на микробный профиль и физико-химические характеристики говяжьей поясницы, полученной от четырех животных двух разных пород: двух коров фризской породы и двух коров породы Сардо-Бруна. Во время сухого и влажного вызревания в образцах мяса, взятых из внутренней части поясницы, определялись аэробные колонии, Enterobacteriaceae, мезофильные молочнокислые бактерии, Pseudomonas spp., плесень и дрожжи, Salmonella enterica, Listeria monocytogenes и Yersinia enterocolitica, а также pH и активность воды (a_w). Кроме того, микробный профиль определялся по образцам, взятым с поверхности мясных отрубов. Образцы, полученные от фризских коров, анализировались начиная с первого дня вызревания, а затем через 7, 14 и 21 день. Образцы, полученные от коров породы Сардо-Бруна, дополнительно анализировались через 28 и 35 дней. Влажное вызревание обеспечивало лучший контроль Pseudomonas spp. во время хранения, демонстрируя статистически более низкие уровни в мясе влажного вызревания по сравнению с мясом сухого вызревания на протяжении всего периода и особенно к его завершению у обеих пород крупного рогатого скота. В конце эксперимента (21 день) количество аэробных колоний и Pseudomonas spp. в мясе сухого вызревания коров фризской породы достигало средних уровней, тогда как средние количества молочнокислых бактерий были выше в мясе влажного вызревания у обеих пород. В мясе, подвергнутом сухому вызреванию, pH был значительно выше ($P<0,01$) по сравнению с мясом влажного вызревания на всех этапах анализа у обеих пород. Активность воды a_w демонстрировал стабильную динамику как во время сухого, так и во время влажного вызревания без значительных различий.

Результаты подчеркивают критическую важность строгого соблюдения надлежащих гигиенических практик на всех этапах производства мясных отрубов, предназначенных для вызревания.

В рамках исследования [13] проведена оценка микробиоты говяжьего мяса, выдержанного в сухом состоянии на коммерческой стадии, с использованием культурально-зависимых и культурально-независимых методов. Проанализированы 58 образцов мяса, полученных от различных производителей, включая мясоперерабатывающие заводы, мясные лавки ремесленного и супермаркетного типа. Зафиксированы параметры вызревания, включая температуру, относительную влажность (*RH*), поверхностный pH и *a_w*. Основные микробные группы идентифицированы путем культивирования на специализированных средах. Анализ грибковой микробиоты включал идентификацию изолятов дрожжей и плесени. Методы вызревания различались по параметрам температуры (0,5-2,8°C, медиана – 2°C) и относительной влажности (47-88%, медиана – 70%). Количество аэробных колоний варьировалось и сопоставимо с численностью *Pseudomonas spp.*, что свидетельствует о доминировании данной бактериальной группы. Популяции дрожжей и плесени обнаружены в различных концентрациях, с наибольшими значениями при высокой относительной влажности. Численность бактерий и плесени положительно коррелировала с влажностью во время вызревания, а в меньшей степени – с температурными условиями. Основными видами дрожжей выступали *Candida zeylanoides* и *Yarrowia alimentaria*, а также *Itersonilia pannonica*, обнаруженная исключительно при метагенетическом анализе. Среди плесневых грибов преобладали психрофильные и психротрофные виды, включая *Mucor complex flavus* и *Helycostylum elegans / pulchrum*, ранее идентифицированные как характерные для говяжьего мяса сухого вызревания.

Исследование выявляет ключевые микроорганизмы, ассоциированные с сухим вызреванием говядины во Франции, поднимая вопрос об их влиянии на органолептические свойства высококачественных мясных продуктов.

Исследование [14] направлено на анализ распределения плесени, дрожжей и бактерий в говядине сухой выдержки (DAB), произведенной на Хоккайдо, Япония, а также оценку их влияния на качество мяса в сравнении с говядиной влажной выдержки (WAB). Для анализа использовались два блока костреца от бычка голштинской породы, которые подвергались сухой и влажной выдержке в течение 35 дней при температуре 2,9°C и относительной влажности 90%. На корочке DAB наблюдалось развитие психрофильных плесневых грибов Mucor flavus и Helicostylum pulchrum, а также других видов, включая Penicillium sp. и Debaryomyces sp. Внутренние ткани мяса характеризовались подавлением молочнокислых бактерий и колиформ.

Выявлены основные виды плесени, присутствующие на DAB, способствующие формированию аромата мяса, что открывает перспективы для дальнейшего изучения их роли в органолептических свойствах продукта.

Исследование [15] португальских ученых направлено на анализ микробиологического поведения говядины в условиях контролируемого сухого вызревания. Двенадцать говяжьих филе подвергались 90-дневному вызреванию в холодной камере с параметрами температуры 3,2 ± 0,7 °C, относительной влажности 60,7 ± 4,2 % и принудительной подачей воздуха 0,5-2 м/с. Для мониторинга динамики микробиологических изменений образцы корочки и постного мяса отбирались на 1, 14, 21, 35, 60 и 90-е сутки вызревания. На начальном этапе количество микроорганизмов на корочке было выше, чем в постном мясе, особенно Enterobacteriaceae. В процессе вызревания наблюдалось значительное увеличение численности мезофильных бактерий, молочнокислых бактерий (LAB), Enterobacteriaceae, Pseudomonas spp. и плесени на поверхности корочки, достигнув максимальных значений к 90-му дню. Количество микроорганизмов в постном мясе, напротив, снижалось с течением времени, особенно мезофильных и психротрофных бактерий, LAB, Pseudomonas spp. и дрожжей ($p < 0,05$). Численность плесени увеличивалась в обоих образцах, однако значительных различий между корочкой и постным мясом не выявлено. Оптимальное время вызревания оценивалось по динамике микробного профиля. На 21-й день количество мезофильных и психротрофных бактерий, LAB, Pseudomonas spp. и дрожжей в постном мясе достигало минимальных значений, что совпадало с пиковым увеличением численности плесени. На 14-й день снижение бактериальной нагрузки сопровождалось усиленным развитием плесневых грибов,

что указывает на динамичность микробиома сухого вызревания. Различия между группами микроорганизмов могут быть обусловлены методами обрезки. Медианные значения численности мезофильных бактерий, молочнокислых бактерий, дрожжей и Pseudomonas spp. были выше в образцах корочки по сравнению с постным мясом. Численность патогенных микроорганизмов (Listeria spp., Salmonella sp., Staphylococcus spp., Escherichia coli) оставалась ниже порога обнаружения во всех временных точках как на корочке, так и в постном мясе.

Физико-химические параметры процесса, включая температуру охлаждения, относительную влажность, интенсивность воздушного потока, *a_w* мяса и *pH*, могут оказывать влияние на динамику пищевой микробиоты. В процессе вызревания патогенные бактерии не обнаружены, а средняя численность микроорганизмов оставалась выше на корочке. Снижение микробной нагрузки в постном мясе и сохранение его свежести подтверждают необходимость соблюдения строгих производственных и складских стандартов на всех этапах сухого вызревания.

Исследование [16] проведенное на бельгийских предприятиях по производству говядины с целью анализа текущих практик сухого вызревания и микробиологической нагрузки на корейки. Для изучения микробных изменений в камерах созревания измерялись температура и относительная влажность, а также отбирались образцы двух корейок на разных стадиях вызревания. С поверхности каждой корейки отдельно анализировались образцы постного мяса и жировой ткани, а также проводился количественный учет различных групп бактерий, дрожжей и плесени. Средняя относительная влажность в камерах созревания составила 72 ± 13 %, а температура варьировалась от 0,0 °C до 5,9 °C. В процессе сушки большинство образцов постного мяса и жировой ткани демонстрировали высокие концентрации психротрофных аэробных бактерий, Pseudomonas spp., психротрофных молочнокислых бактерий и дрожжей, однако между корейками наблюдались значительные различия. Микробиологическая нагрузка на свежесрезанные стейки сухого вызревания оказалась ниже по сравнению с поверхностью филейной части, однако внутри некоторых стейков присутствовали как психротрофные аэробные, так и анаэробные бактерии. Активность воды (a_w) внутри стейков сухого вызревания оставалась высокой (a_w ≥ 0,98), что могло способствовать росту психротрофных патогенов. Необходимы дополнительные исследования для определения потенциального микробного роста во время хранения обрезанных стейков, а также оценки микробных изменений внутри филейной части в процессе сухого вызревания.

Идентификация и анализ микроорганизмов

Исследование авторов [17] направлено на выделение и идентификацию микроорганизмов, особенно дрожжей и плесени, участвующих в улучшении качества говядины в процессе сухого вызревания, с применением микробиомного анализа. Кроме того, рассмотрена возможность использования этих микроорганизмов в качестве штаммов заквасочных культур для повышения эффективности производства говядины методом сухого вызревания. Говяжьи филе подвергались вызреванию в течение 28 дней при различных скоростях воздушного потока (0, 2,5 и 5 м/с) в условиях температуры 1-3 °C и относительной влажности 75 %. Микробный состав был подтвержден с применением микробиомного анализа. Образцы плесени и дрожжей высевались на картофельно-декстрозный агар с добавлением 10 % винной кислоты, а выделенные колонии идентифицировались с помощью секвенирования ДНК. Проведен микробиологический анализ изолятов, включающий морфологические характеристики, условия роста и ферментативную активность. Результаты микробиомного анализа показали, что доминирующими микроорганизмами являются плесень и дрожжи, идентифицированные как Pilaira anomala SMFM201611 и Debaryomyces hansenii SMFM201707. Эти изолированные штаммы были инокулированы в 24 филе низшего сорта, после чего образцы подвергались сухому вызреванию в течение 0, 14, 21 и 28 дней. Во время вызревания плесень и дрожжи способствовали улучшению качества мяса. Pilaira anomala SMFM201611 и Debaryomyces hansenii SMFM201707, выделенные из мяса сухого вызревания, играли ключевую роль в повышении нежности продукта путем разрушения миофибрилл.

Оба микроорганизма также улучшали вкусовые качества мяса, способствуя образованию свободных жирных кислот и аминокислот. Вкусовые и ароматические характеристики низкосортной говядины значительно улучшались в процессе сухого

вызревания, что подчеркивает потенциал применения специфических штаммов для усиления органолептических свойств мяса.

Исследование авторов [18] направлено на анализ продольных изменений в микробных и грибковых сообществах говядины сухого вызревания с использованием метагеномной платформы. Секвенирование 16S рРНК продемонстрировало увеличение бактериального разнообразия в результате вызревания, с доминированием представителей Actinobacteria и Firmicutes, большинство из которых являются молочнокислыми бактериями. Однако при длительном сухом вызревании наблюдалось уменьшение их разнообразия. Секвенирование области внутреннего транскрибируемого спейсера (ITS) выявило сокращение грибкового разнообразия в процессе вызревания, при этом наиболее распространенным видом оказался Helicostylum sp.

Результаты исследования подтверждают наличие различных микроорганизмов в мясе сухого вызревания, которые взаимодействуют между собой и оказывают влияние на его качество. Глубокое понимание микробных характеристик, возникающих в процессе вызревания, представляет важную перспективу для оптимизации качества говядины и усиления ее функциональных свойств.

Исследование [19] направлено на сравнительный анализ микробиологического профиля свиной шеи и корейки с костью и кожей, подвергнутых сухому вызреванию в течение 14 дней. Для оценки изменений микробного состава определялись показатели общего жизнеспособного психротрофного числа, Enterobacteriaceae, психротрофных молочнокислых бактерий (LAB) и Pseudomonas spp. на поверхности мяса с кожей, а также на боковых поверхностях разделки без кожи. Анализ проводился на первый день после убоя и после 14 дней вызревания.

Результаты исследования показали, что сухое вызревание не привело к значительному ухудшению микробиологического профиля мяса.

Дополнительные методы и подходы

Исследование авторов [20] направлено на анализ влияния процессов вызревания и микробного роста на метаболом выдержанной говядины. Метаболом говядины формируется под воздействием применяемого метода вызревания, включая изменения метаболических процессов и микробного состава, способных влиять на качество мяса. Для анализа динамики метаболических изменений проведено исследование внутренней части и обрезанной поверхности говядины сухого вызревания (так называемой «корочки», образующейся в результате высыхания), а также говядины влажного вызревания. Образцы анализировались с применением спектроскопии ядерного магнитного резонанса на протяжении 28-дневного периода вызревания с интервалами в 7 дней. Дополнительно для говядины сухого вызревания проведен микробиологический анализ. Результаты спектроскопического анализа подтвердили наличие динамических метаболических изменений в течение вызревания, которые различались в зависимости от места отбора проб (внутренние ткани или поверхность мяса). Влияние микробиоты на метаболические сдвиги оказалось незначительным, что связано с низким уровнем микробного роста на поверхности говядины сухого вызревания. Следовательно, метаболические изменения в говядине сухого вызревания преимущественно обусловлены эндогенными биохимическими процессами, связанными с вызреванием после забоя. При сравнении двух методов вызревания выявлено значительное увеличение концентраций аминокислот и инозина, а также снижение уровня инозин-5'-монофосфата в говядине влажного вызревания.

Данные свидетельствуют о более активной деградации белков и усиленном энергетическом обмене в мясе влажного вызревания, вероятно, вследствие совокупного эффекта вызревания и микробиоты, влияющих на метаболические преобразования данного типа мяса.

Исследование авторов [21] направлено на оценку воздействия композитного покрытия на основе хитозана, коллагеновых пептидов и эфирного масла коры корицы на качество говядины сухого вызревания. Для создания покрытия хитозан (2 %), коллагеновые пептиды (1%) и эфирное масло коры корицы (1%) были гомогенизированы. Образцы говядины разделены на три группы: традиционная сухая выдержка, сухая выдержка в мешках, выдержка с композитным покрытием. Процесс вызревания длился 42 дня, в течение которых оценивались микробные параметры образцов. Воздействие покрытия не оказало влияния на

грибковое сообщество, но привело к изменениям бактериального состава, включая подавление Pseudomonas spp.

Таким образом, исследование показывает, что композитное покрытие на основе хитозана, коллагеновых пептидов и эфирного масла коры корицы снижает микробную порчу говядины в процессе сухого вызревания при минимальном влиянии на качество конечного продукта.

В исследовании [22] изучалось влияние двух методов вызревания – вакуумного (*VP*) и сухого (*DA*) – на микробиологические изменения говядины. Образцы бескостной поясничной части молодых туш породы шароле были отобраны на 4-й день после забоя и хранились в течение 26 дней при охлаждении в вакуумной упаковке или в условиях сухого вызревания. Дополнительно подготовлены контрольные образцы, препарированные на 7-й день после забоя. Микробиологические показатели (n = 18) анализировались в длиннейшей мышце спины и подвергались дисперсионному анализу для оценки различий в фиксированном факторе вызревания. Анализ проводился по двум ортогональным контрастам: контрольные образцы vs. вызревшие образцы; вакуумное vs. сухое вызревание. Продолжительное вызревание увеличивало как перекисное число, так и общую численность микроорганизмов, особенно в образцах *DA*, однако оба показателя оставались в пределах рекомендуемых значений.

Таким образом, оба метода вызревания способствовали улучшению тендеризации мяса, обеспечивая его сохранность в течение исследуемого периода хранения.

Исследование [23] направлено на определение микробного состава свиной корейки в процессе сухого вызревания (DA) с использованием культуральных методов и независимого от культивирования секвенирования гена meta-16S рРНК, а также на характеристику выявленных микроорганизмов. Анализ meta-16S рРНК выявил доминирующее присутствие Pseudomonas spp. в микробиоте на протяжении DA. Однако культуральный анализ показал значительные изменения в видовом составе микроорганизмов в ходе вызревания. До DA вторыми по численности бактериями, согласно метагеномному анализу, были Acinetobacter spp., однако их концентрация существенно снизилась во время вызревания. Численность дрожжевых клеток демонстрировала тенденцию к увеличению, а Debaryomyces hansenii оказался единственным микроорганизмом, выделенным во всех образцах мяса на протяжении DA. При проведении обоих методов анализа микробиоты не были обнаружены известные пищевые патогены.

В работе [24] представлено исследование микробиологических характеристик конины при сухом и влажном созревании в течение 14 и 21 суток. Объектом исследования являлась длиннейшая мышца (Longissimus Dorsi) из спинно-поясничного отруба. Образцы подвергались различным методам созревания: сухому в специализированном шкафу Samaref (SAMAREFDE 700 RFPVBK, Италия) и влажному в вакуумных пакетах PA/PE (120 мкн), упакованных в аппарате Turbovac (ST-320, Нидерланды). Образцы массой 3,4 кг были распределены по группам согласно методу и продолжительности созревания. При анализе микробиологических показателей учитывались основные микроорганизмы, скорость их роста, а также влияние условий созревания на уровень микробной обсемененности. По микробиологическим показателям все исследуемые образцы соответствовали требованиям ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции». Важно отметить, что при сухом созревании наблюдалось снижение общего уровня аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) по сравнению с влажным методом. В исследуемых образцах не выявлено присутствие дрожжей, плесневых грибов, патогенных бактерий (Salmonella spp., Proteus spp., Listeria monocytogenes), а также бактерий группы кишечных палочек и молочнокислых микроорганизмов. Подтверждает возможность достижения низкой микробной обсемененности при строгом контроле условий созревания мяса.

Полученные данные свидетельствуют о влиянии метода и продолжительности созревания конины на микробиологические показатели. Сухое созревание способствует снижению микробной нагрузки, что может быть полезным для обеспечения безопасности мясной продукции.

Микробиологическая среда созревания мяса представляет собой сложную экосистему, включающую широкий спектр микроорганизмов. В процессе созревания различные бактериальные и грибковые сообщества участвуют в формировании вкуса, аромата и текстуры мяса, а также влияют на его безопасность и стабильность.

Представленная таблица 1 обобщает ключевые микроорганизмы, обнаруженные на различных стадиях созревания мяса, включая патогенные бактерии, вызывающие порчу виды, а также микроорганизмы, играющие положительную роль в процессе ферментации и улучшения органолептических свойств продукта.

Таблица 1 – Микроорганизмы, обнаруженные в процессе созревания мяса

№	Тип микроорганизмов	Симптомы	Ссылки
Патогенные микроорганизмы (опасные для здоровья)			
1	Escherichia coli (STEC)	вызывает кишечные инфекции, сопровождающиеся диареей, рвотой, болями в животе	[8-11, 15]
2	Escherichia coli O157:H7	продуцирует шигатоксин, способный вызывать гемолитико-уремический синдром	[8-11, 15]
3	Salmonella spp.	приводит к сальмонеллезу, проявляющемуся лихорадкой, диареей, слабостью	[8-12, 15, 24]
4	Listeria monocytogenes	опасна для беременных и людей с ослабленным иммунитетом, вызывает менингит и сепсис	[8-12, 15, 24]
5	Campylobacter spp.	вызывает кишечные расстройства, часто сопровождающиеся жаром и болями в животе	[8]
6	Yersinia enterocolitica	приводит к пищевым инфекциям с диареей и болью в области живота, иногда имитирующей аппендицит	[9, 12]
7	Clostridium spp.	включает возбудителей ботулизма и пищевых токсикоинфекций	[8]
8	Aspergillus spp., Penicillium spp.	плесневые грибы, могут продуцировать микотоксины, опасные для печени и нервной системы.	[8, 14]
9	Staphylococcus aureus	способен выделять энтеротоксины, вызывающие пищевые отравления	[8, 11, 15]
10	Proteus spp.	может вызывать инфекции мочевыводящих путей, сопровождающиеся лихорадкой, болью внизу живота и неприятным запахом мочи	[24]
Бактерии порчи мяса (не всегда опасны для человека, но ухудшают качество мяса)			
11	Pseudomonas spp.	вызывает неприятный запах, изменение цвета и консистенции мяса	[7, 8, 12, 13, 15, 16, 19, 21]
12	Brochothrix thermosphacta	приводит к липкости поверхности продукта, изменению запаха	[7, 8]
13	Psychrobacter spp.	активен при низких температурах, влияет на вкус и запах мяса	[7]
14	Shewanella spp.	способствует образованию сернистых соединений, вызывая неприятный запах	[8]
15	Enterobacteriaceae (Klebsiella, Proteus, Serratia, Enterobacter)	могут провоцировать гнилостный запах мяса	[12, 15, 19]
16	Lactobacillus spp., Leuconostoc spp., Weissella spp., Enterococcus spp.	развиваются при низком доступе кислорода, иногда вызывают кисловатый вкус	[8]
Плесневые грибы и дрожжи (одни из них участвуют в процессе созревания мяса, улучшая его характеристики, тогда как другие могут быть нежелательными)			
17	Mucor flavus, Helicostylum pulchrum	способствуют ферментации и формированию вкусовых характеристик сухого вызревания мяса	[14, 18]
18	Penicillium sp.	может как участвовать в созревании, так и выделять нежелательные микотоксины	[8, 14]
19	Candida zeylanoides, Yarrowia alimentaria	обнаруживаются в сухом вызревании, могут оказывать влияние на аромат мяса	[13]
Полезные микроорганизмы (бактерии, улучшающие органолептические свойства мяса и способствующие его ферментации)			
20	Latilactobacillus sakei	помогает стабилизировать микрофлору мясных продуктов, подавляя развитие патогенов	[7]
21	Staphylococcus equorum	участвует в созревании мясных продуктов, формируя их вкус и аромат	[7]

Заключение

Современные исследования микробиологической безопасности созревания мяса показывают, что этот процесс играет ключевую роль в формировании качества и безопасности мясной продукции. Контроль микрофлоры на всех этапах созревания особенно важен для предотвращения развития нежелательных микроорганизмов, способных привести к порче продукта или возникновению рисков для здоровья потребителей.

Основные проблемы в данной области связаны с необходимостью точного регулирования условий созревания, таких как температура, влажность и газовая среда, а также с поиском оптимальных методов мониторинга микробиологической обсемененности.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются совершенствование методов контроля и диагностики микробиологических процессов, разработка инновационных подходов к управлению микрофлорой созревающего мяса и поиск способов минимизации бактериального загрязнения без ущерба для органолептических свойств продукта.

Таким образом, дальнейшая работа в этом направлении должна быть направлена на повышение безопасности мясной продукции, улучшение технологий созревания и внедрение более эффективных методов контроля качества.

Список литературы

1. Novel Techniques for Microbiological Safety in Meat and Fish Industries / M. Rebezov et al // Applied Sciences. – 2022, Vol. 12(1), – P. 319. https://doi.org/10.3390/app12010319.
2. Halagarda M. Health and safety aspects of traditional European meat products. A review / M. Halagarda, K.M. Wójciak // Meat science. – 2022. – Vol. 184. – P. 108623. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108623.
3. Justification and microbiota compositions development for the fermentation of raw meat / S. Danylenko et al // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2023. – Vol. 17. – P. 405-418. https://doi.org/10.5219/1874.
4. Terjung N. The dry aged beef paradox: Why dry aging is sometimes not better than wet aging / N. Terjung, F. Witte, V. Heinz // Meat science. – 2021. – Vol. 172. – P. 108355. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108355.
5. Effects of the Aging Period and Method on the Physicochemical, Microbiological and Rheological Characteristics of Two Cuts of Charolais Beef / M. Di Paolo et al // Foods. – 2023. – Vol. 12(3). – P. 531. https://doi.org/10.3390/foods12030531.
6. Study on the Correlations between Quality Indicators of Dry-Aged Beef and Microbial Succession during Fermentation / Y. Cheng et al // Foods. – 2024. – Vol. 13(10). – P. 1552. https://doi.org/10.3390/foods13101552.
7. In-depth characterization of food and environmental microbiomes across different meat processing plants / C. Barcenilla et al // Microbiome. – 2024. – Vol. 12(1). – P. 199. https://doi.org/10.1186/s40168-024-01856-3.
8. Microbiological safety of aged meat / K. Koutsoumanis et al // EFSA J. – 2023. – Vol. 21(1). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7745.
9. Microbiological safety of dry-aged meat: a critical review of data gaps and research needs to define process hygiene and safety criteria / F. Savini et al // Ital J Food Saf. – 2024. – Vol. 13(3) – P. 12438. https://doi.org/10.4081/ijfs.2024.12438.
10. Decrease of Salmonella and Escherichia coli O157:H7 counts during dry-aging of beef but potential growth of Listeria monocytogenes under certain dry-aging conditions / I. Van Damme et al // Food microbiology. – 2022. – 104. – P. 104000. https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104000.
11. Reduction of the microbial load in meat maturation rooms with and without alkaline electrolyzed water fumigation / F. Savini et al // Ital J Food Saf. – 2023. – Vol. 12(3). – P. 11109. https://doi.org/10.4081/ijfs.2023.11109.
12. Preliminary data on the microbial profile of dry and wet aged bovine meat obtained from different breeds in Sardinia / M.P. Meloni et al // Italian journal of food safety. – 2023. – Vol. 12(2). – P. 11060. https://doi.org/10.4081/ijfs.2023.11060.
13. Microbiota associated with commercial dry-aged beef in France / E. Coton et al // Food research international. – 2024. – Vol. 181, – P.114118. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114118.
14. Dry-aged beef manufactured in Japan: Microbiota identification and their effects on product characteristics / N. Mikami et al // Food research international. – 2021. – Vol.140. – P. 110020. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110020.

15. Microbial, Physicochemical Profile and Sensory Perception of Dry-Aged Beef Quality: A Preliminary Portuguese Contribution to the Validation of the Dry Aging Process A / Ribeiro et al // Foods. – 2023. – Vol. 12(24). – P. 4514. https://doi.org/10.3390/foods12244514.
16. Exploring the microbiological quality and safety of dry-aged beef: A cross-sectional study of loin surfaces during ripening and dry-aged beef steaks from commercial meat companies in Belgium / T.K. Gowda et al // Food microbiology. – 2022. – Vol. 102. – P. 103919. https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103919.
17. Identification of Microorganisms Associated with the Quality Improvement of Dry-Aged Beef Through Microbiome Analysis and DNA Sequencing, and Evaluation of Their Effects on Beef Quality / H. Oh et al // Journal of food science. – 2019. – Vol. 84(10), – P. 2944-2954. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14813.
18. Molecular Characterization of Microbial and Fungal Communities on Dry-Aged Beef of Hanwoo Using Metagenomic Analysis / S. Ryu et al // Foods. – 2020. – Vol. 9(11). – P. 1571. https://doi.org/10.3390/foods9111571.
19. Effect of Dry Aging of Pork on Microbiological Quality and Instrumental Characteristics / H. Veselá et al // Foods. – 2024. – Vol. 13(19). – P. 3037. https://doi.org/10.3390/foods13193037.
20. Metabolic and microbial analyses of the surface and inner part of wet-aged and dry-aged beef / G. Bischof et al // Journal of food science. – 2023. – Vol. 88(11). – P. 4375-4387. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16761.
21. Effects of Chitosan/Collagen Peptides/Cinnamon Bark Essential Oil Composite Coating on the Quality of Dry-Aged Beef / S. Zhang et al // Foods. – 2022. – Vol. 11(22). – P. 3638. https://doi.org/10.3390/foods11223638.
22. Influence of Ageing Time and Method on Beef Quality and Safety / S. Khazzar et al // Foods. – 2023. – Vol. 12(17). – P. 3250. https://doi.org/10.3390/foods12173250.
23. Characterization of the microbiota and chemical properties of pork loins during dry aging / A. Endo et al // Microbiology Open. – 2021. – Vol. 10(1). – P. 1157. https://doi.org/10.1002/mbo3.1157.
24. Мухамедов Т.А. Сравнительная оценка показателей качества конины сухого и влажного созревания / Т.А. Мухамедов, С.М. Мухамедова // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. – 2024. – № 4(46). – С. 88-101.

References

1. Novel Techniques for Microbiological Safety in Meat and Fish Industries / M. Rebezov et al // Applied Sciences. – 2022, Vol. 12(1), – R. 319. https://doi.org/10.3390/app12010319. (In English).
2. Halagarda M. Health and safety aspects of traditional European meat products. A review / M. Halagarda, K.M. Wójciak // Meat science. – 2022. – Vol. 184. – R. 108623. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108623. (In English).
3. Justification and microbiota compositions development for the fermentation of raw meat / S. Danylenko et al // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2023. – Vol. 17. – R. 405-418. https://doi.org/10.5219/1874. (In English).
4. Terjung N. The dry aged beef paradox: Why dry aging is sometimes not better than wet aging / N. Terjung, F. Witte, V. Heinz // Meat science. – 2021. – Vol. 172. – R. 108355. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108355. (In English).
5. Effects of the Aging Period and Method on the Physicochemical, Microbiological and Rheological Characteristics of Two Cuts of Charolais Beef / M. Di Paolo et al // Foods. – 2023. – Vol. 12(3). – R. 531. https://doi.org/10.3390/foods12030531. (In English).
6. Study on the Correlations between Quality Indicators of Dry-Aged Beef and Microbial Succession during Fermentation / Y. Cheng et al // Foods. – 2024. – Vol. 13(10). – R. 1552. https://doi.org/10.3390/foods13101552. (In English).
7. In-depth characterization of food and environmental microbiomes across different meat processing plants / C. Barcenilla et al // Microbiome. – 2024. – Vol. 12(1). – R. 199. https://doi.org/10.1186/s40168-024-01856-3. (In English).
8. Microbiological safety of aged meat / K. Koutsoumanis et al // EFSA J. – 2023. – Vol. 21(1). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7745. (In English).
9. Microbiological safety of dry-aged meat: a critical review of data gaps and research needs to define process hygiene and safety criteria / F. Savini et al // Ital J Food Saf. – 2024. – Vol. 13(3) – R. 12438. https://doi.org/10.4081/ijfs.2024.12438. (In English).

10. Decrease of Salmonella and Escherichia coli O157:H7 counts during dry-aging of beef but potential growth of Listeria monocytogenes under certain dry-aging conditions / I. Van Damme et al // Food microbiology. – 2022. – 104. – R. 104000. https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104000. (In English).
11. Reduction of the microbial load in meat maturation rooms with and without alkaline electrolyzed water fumigation / F. Savini et al // Ital J Food Saf. – 2023. – Vol. 12(3). – R. 11109. https://doi.org/10.4081/ijfs.2023.11109. (In English).
12. Preliminary data on the microbial profile of dry and wet aged bovine meat obtained from different breeds in Sardinia / M.P. Meloni et al // Italian journal of food safety. – 2023. – Vol. 12(2). – R. 11060. https://doi.org/10.4081/ijfs.2023.11060. (In English).
13. Microbiota associated with commercial dry-aged beef in France / E. Coton et al // Food research international. – 2024. – Vol. 181, – R.114118. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114118. (In English).
14. Dry-aged beef manufactured in Japan: Microbiota identification and their effects on product characteristics / N. Mikami et al // Food research international. – 2021. – Vol.140. – R. 110020. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110020. (In English).
15. Microbial, Physicochemical Profile and Sensory Perception of Dry-Aged Beef Quality: A Preliminary Portuguese Contribution to the Validation of the Dry Aging Process A / Ribeiro et al // Foods. – 2023. – Vol. 12(24). – R. 4514. https://doi.org/10.3390/foods12244514. (In English).
16. Exploring the microbiological quality and safety of dry-aged beef: A cross-sectional study of loin surfaces during ripening and dry-aged beef steaks from commercial meat companies in Belgium / T.K. Gowda et al // Food microbiology. – 2022. – Vol. 102. – R. 103919. https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103919. (In English).
17. Identification of Microorganisms Associated with the Quality Improvement of Dry-Aged Beef Through Microbiome Analysis and DNA Sequencing, and Evaluation of Their Effects on Beef Quality / H. Oh et al // Journal of food science. – 2019. – Vol. 84(10), – R. 2944-2954. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14813. (In English).
18. Molecular Characterization of Microbial and Fungal Communities on Dry-Aged Beef of Hanwoo Using Metagenomic Analysis / S. Ryu et al // Foods. – 2020. – Vol. 9(11). – R. 1571. https://doi.org/10.3390/foods9111571. (In English).
19. Effect of Dry Aging of Pork on Microbiological Quality and Instrumental Characteristics / H. Veselá et al // Foods. – 2024. – Vol. 13(19). – R. 3037. https://doi.org/10.3390/foods13193037. (In English).
20. Metabolic and microbial analyses of the surface and inner part of wet-aged and dry-aged beef / G. Bischof et al // Journal of food science. – 2023. – Vol. 88(11). – R. 4375-4387. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16761. (In English).
21. Effects of Chitosan/Collagen Peptides/Cinnamon Bark Essential Oil Composite Coating on the Quality of Dry-Aged Beef / S. Zhang et al // Foods. – 2022. – Vol. 11(22). – R. 3638. https://doi.org/10.3390/foods11223638. (In English).
22. Influence of Ageing Time and Method on Beef Quality and Safety / S. Khazzar et al // Foods. – 2023. – Vol. 12(17). – R. 3250. https://doi.org/10.3390/foods12173250. (In English).
23. Characterization of the microbiota and chemical properties of pork loins during dry aging / A. Endo et al // Microbiology Open. – 2021. – Vol. 10(1). – R. 1157. https://doi.org/10.1002/mbo3.1157. (In English).
24. Mukhamedov T.A. Sravnitel'naya otsenka pokazatelei kachestva koniny sukhogo i vlazhnogo sozrevaniya / T.A. Mukhamedov, S.M. Mukhamedova // Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2024. – № 4(46). – S. 88-101. (In English).

Т.А. Мухамедов[1*], Т.А. Байбатыров[2], Г.С. Сагитова[1], Н.А. Еріш[1], Ш.С. Габдулин[1]
[1]Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті,
110000, Қазақстан Республикасы, Қостанай қаласы, Байтұрсынов көшесі, 47
[2]Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті,
090009, Қазақстан Республикасы, Орал қаласы, Жәңгір хан көшесі, 51
*e-mail: cheltob@mail.ru

ЕТТІҢ ЖЕТІЛУ КЕЗІНДЕГІ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗДІГІНІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ

Бұл шолуда еттің жетілу процесінің микробиологиялық қауіпсіздігіне арналған заманауи зерттеулерге басты назар аударылған. Әсіресе, әртүрлі жетілу әдістерінің микробтық ластану деңгейіне әсері және патогенді микроорганизмдердің дамуына байланысты қауіптер талданады. Жетілу жағдайларын (температура, ылғалдылық және газдық орта құрамы) дәл бақылау қажеттілігі сияқты негізгі мәселелер қарастырылды. Сонымен қатар, еттің жетілу барысындағы микрофлорасын қадағалау және басқару әдістерін жетілдіруге бағытталған болашақ зерттеулердің перспективалық бағыттары анықталды. Мақалада микробиологиялық қауіптерді азайтудың инновациялық тәсілдерін әзірлеуге ерекше назар аударылып, олардың өнімнің органолептикалық қасиеттеріне әсер етпеуі маңызды екені атап өтілді. Бұдан бөлек, еттің әртүрлі жетілу кезеңдерінде микробтық құрамын дәлірек талдау үшін заманауи биотехнологиялар мен молекулалық-генетикалық әдістерді қолдану мүмкіндіктері қарастырылды. Осы зерттеулердің дамуы өнімнің қауіпсіздігін арттырып қана қоймай, микробиологиялық процестерді оңтайландыру арқылы оның сапасын жақсартуға да ықпал етеді. Осылайша, шолу ет өнімдерінің жетілу кезеңіндегі микробиологиялық қауіпсіздігін кешенді түрде қамтамасыз етудің маңыздылығын айқындайды, бұл түпкілікті өнімнің сапасы мен қауіпсіздігін арттыруға көмектеседі. Озық технологияларды енгізу және жаңа бақылау әдістерін әзірлеу микробтық ластану қаупін барынша азайтуға мүмкіндік береді, осылайша еттің жетілу процесінің жоғары деңгейде тұрақтылығы мен сенімділігін қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: *ет, жетілу, патогендер, микроорганизмдер, микробиом, қауіпсіздік.*

T. A. Mukhamedov[1]*, T.A. Baibatyrov[2], G.S. Sagitova[1], N.A. Yerish[1], Sh. S. Gabdulin[1]
[1]Kostanay Regional University named after Akhmet Baytursinuly
110000, Republic of Kazakhstan, Kostanay, Baitursynov St., 47
[2]West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan
090009, Republic of Kazakhstan, Uralsk, Zhangir khan str., 51
*e-mail: cheltob@mail.ru

CURRENT STATE OF MEAT MICROBIOLOGICAL SAFETY WHEN MATURING

This review focuses on modern research on the microbiological safety of the meat maturation process. Special emphasis is placed on the influence of various maturation methods on the level of microbial contamination, as well as on the risks associated with the development of pathogenic microorganisms. The analysis of key problems is carried out, including the need for precise control of maturation conditions such as temperature, humidity and composition of the gaseous medium. Promising areas of further research have been identified, aimed at improving methods for monitoring and managing the microflora of maturing meat. Special attention is paid to the development of innovative approaches that minimize microbiological risks without compromising the organoleptic characteristics of the product. In addition, the possibilities of using modern biotechnologies and molecular genetic methods for a more accurate analysis of the microbial composition of meat at different stages of maturation are being considered. The development of these areas will not only improve product safety, but also improve its quality by optimizing microbiological processes. Thus, the review highlights the need for an integrated approach to ensuring the microbiological safety of meat products at the stage of their maturation, which contributes to improving the quality and safety of the final product. The introduction of advanced technologies and the development of new control methods will minimize the risks associated with microbiological contamination, ensuring a high level of reliability and stability of the meat maturation process.

Key words: *meat, maturation, pathogens, microorganisms, microbiomes, safety.*

Авторлар туралы мәліметтер

Талгат Амангалиевич Мухамедов* – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасының аға оқытушысы, Ахмет Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан Республикасы; e-mail: cheltob@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/ 0009-0004-8441-6691.

Торебек Абелбаевич Байбатыров – техника ғылымдарының кандидаты, ветеринария және агротехнология институтының қауымдастырылған профессоры, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан Республикасы; e-mail: torebek-18@mail.ru. ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7940-626X.

Гульназ Сансызбаевна Сагитова – азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасының аға оқытушысы, Ахмет Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан Республикасы; e-mail: gulnaz84k@mail.ru.

Нұрбол Амантайұлы Еріш – техника ғылымдарының магистрі, азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасының аға оқытушысы, Ахмет Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан Республикасы; e-mail: erish.nurbol@mail.ru. https://orcid.org/ ORCID 0000-0002-4494-4885.

Шынгысхан Сагындыкович Габдулин – ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасының аға оқытушысы, Ахмет Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан Республикасы; e-mail: gabdullin.80@inbox.ru. ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-1102-437X.

Сведения об авторах

Талгат Амангалиевич Мухамедов* – магистр сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры продовольственная безопасность и биотехнологии, Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан; e-mail: cheltob@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/ 0009-0004-8441-6691.

Торебек Абелбаевич Байбатыров – кандидат технических наук, ассоциированный профессор института ветеринарии и агротехнологии, Западно Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан; e-mail: torebek-18@mail.ru. ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7940-626X.

Гульназ Сансызбаевна Сагитова – старший преподаватель кафедры продовольственная безопасность и биотехнологии, Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан; e-mail: gulnaz84k@mail.ru.

Нұрбол Амантайұлы Еріш – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры продовольственная безопасность и биотехнологии, Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан; e-mail: erish.nurbol@mail.ru. https://orcid.org/ ORCID 0000-0002-4494-4885.

Шынгысхан Сагындыкович Габдулин – магистр сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры продовольственная безопасность и биотехнологии, Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан; e-mail: gabdullin.80@inbox.ru. ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-1102-437X.

Information about the authors

Talgat Amangalievich Mukhamedov* – master of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at the Department of Food Safety and Biotechnology, Kostanay Regional University named after Akhmet Baytursinuly, Kostanay, Republic of Kazakhstan; e-mail: cheltob@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/ 0009-0004-8441-6691.

Torebek Abelbaevich Baibatyrov – candidate of technical sciences, acting associate Professor Institute of veterinary and agrotechnology, West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan, Uralsk, Kazakhstan; e-mail: torebek-18@mail.ru. ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7940-626X.

Gulnaz Sansyzbaevna Sagitova – senior Lecturer at the Department of Food Safety and Biotechnology, Kostanay Regional University named after Akhmet Baytursinuly, Kostanay, Republic of Kazakhstan; e-mail: e-mail: gulnaz84k@mail.ru.

Nurbol Amantayuly Yerish – master of Technical Science, Senior Lecturer at the Department of Food Safety and Biotechnology, Kostanay Regional University named after Akhmet Baytursinuly, Kostanay, Republic of Kazakhstan; e-mail: erish.nurbol@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-4494-4885.

Shyngyskhan Sagyndykovich Gabdulin – master of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at the Department of Food Safety and Biotechnology, Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynuly, Kostanay, Kazakhstan; e-mail: gabdullin.80@inbox.ru. ORCID: https://orcid.org / 0000-0002-1102-437X.

Поступила в редакцию 12.06.2025
Поступила после доработки 04.08.2025
Принята к публикации 05.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-31

ҒТАХР: 65.59.91

CC BY 4.0

Check for updates

М.Т. Мурсалыкова[1]*, Ж.Н. Баяшева[2], Г.А. Кокаева[2], А.М. Шуленова[2], Е.Т. Кажибаева[2]

[1]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки көшесі, 20 А
[2]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы, 62
e-mail: maigul_85@mail.ru

ТАУЫҚ АСҚАЗАНДАРЫН ТАМАҚ ЖӘНЕ ЕМДІК-ПРОФИЛАКТИКАЛЫҚ МАҚСАТТАРҒА ӨҢДЕУДІҢ ҚАЛДЫҚСЫЗ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ТАЛДАУ

Аңдатпа: *Бұл мақалада тауық асқазандарын өңдеудің қалдықсыз технологиясын талдау және ғылыми зерттеулер ұсынылған. Ет пен басқа да құс өнімдерін сақтау және ұтымды пайдалану құс өңдеу саласының басты міндеті болып табылады. Рационалды өңдеуді тек қалдықсыз технология негізінде қамтамасыз етуге болады-бұл құсты толығымен құс ұшасынан ішкі мүшелерді алу, ішкі мүшелері пен майды қолдана отырып, құс етінен өнімдер шығару. Құс өңдеу зауытының экономикалық әл-ауқаты көбінесе оның құс өңдеудің шикізатын, негізгі және жанама өнімдерін қаншалықты тиімді пайдаланатынына байланысты. Шикізат пен өнімдерді жоғалтпай жұмыс істеу ғана емес, оларды оңтайлы пайдалану да маңызды. Тиісті өңдеу технологияларын қолдана отырып, жануарлар денелерінің пайдаланылмаған бөліктерін пайдалы өнімдерге айналдыруға болады, оларды пайдалану осы қалдықтарды өндірушілер үшін экономикалық және экологиялық жүктемелерді азайтады. Дайындалған өнімдерді, мысалы, тамақ өнеркәсібінде, емдік-профилактикалық жұмыстарда, сондай-ақ мал мен үй жануарларына арналған азық-түлік өндірісінде кеңінен қолдануға болады. Зерттеу барысында тауық асқазанының ішкі өнімдерінің химиялық және аминқышқылдық құрамы зерттелді, сонымен қатар тағамдық және емдік-профилактикалық мақсаттарға биологиялық белсенді қоспалар алу үшін тауық асқазанының қабығын ұтымды пайдалану ұсынылады.*

Түйін сөздер: *қалдықсыз технология, ұтымды пайдалану, субөнімдер, тауық асқазанының қабығы, диеталық қоспалар, тамақ өнімдері.*

Кіріспе

Құс шаруашылығы-агроөнеркәсіптік кешеннің ең қарқынды және серпінді салаларының бірі. Ол халықты құнды тағамдармен қамтамасыз етеді: ет, жұмыртқа, мамық, қауырсын. Ет пен басқа да құс өнімдерін сақтау және ұтымды пайдалану құс өңдеу саласының басты міндеті болып табылады. Рационалды өңдеуді қалдықсыз технология негізінде ғана қамтамасыз етуге болады – бұл құс етін толық тазарту, ішкі мүшелер*і* мен майды пайдалана отырып, құс өнімдерін өндіру. Құс етін өңдеу кәсіпорнының экономикалық әл-ауқаты көбінесе оның шикізатты, құс етін өңдеудің негізгі және жанама өнімдерін қаншалықты тиімді пайдаланатынына байланысты [1, 2]. Бұл ретте шикізат пен өнімді ысырап етпей жұмыс істеп қана қоймай, оларды оңтайлы пайдалану маңызды [3].

Соңғы онжылдықтарда тамақ қалдықтарын қайта өңдеу өнеркәсіптік және азық-түлік кәсіпорындары үшін басты басымдыққа айналды. Қазақстанда құс шаруашылығын заманауи ұйымдастыру іс жүзінде қалдықсыз салаға қол жеткізуге мүмкіндік береді. Зауыттар жұмыртқа мен ет өндірумен қатар өндіріс қалдықтарын да пайдаланады (жем өндіру үшін). Құс ұшасынан ішкі мүшелерді алудан кейін алынған қалдықтар жемшөп дайындауға пайдаланылады. Ол ересек құстарға жем ретінде пайдаланылады [4].

Жанама өнімдердің көпшілігі өте құнды шикізат ресурсы бола алады. Жанама өнімдер табиғи полимерлерге бай, мысалы, тауықтың басы, асқазаны немесе аяқтары 50-75% ақуыз, құрғақ зат (83-98% коллагеннен тұрады); басқалары, мысалы, терілерде майдың жоғары үлесі бар (85% дейін).

Тиісті өңдеу технологияларын қолдану арқылы жануарлардың пайдаланылмаған бөліктерін пайдалы өнімдерге өңдеуге болады және оларды пайдалану осы қалдықтарды өндірушілерге экономикалық және экологиялық жүктемені азайтады. Дайындалған өнімдерді, мысалы, тамақ өнеркәсібінде, емдеу-профилактикалық өнеркәсіпте, сондай-ақ мал мен үй жануарларына арналған жем өндіруде кеңінен қолдануға болады.

Тауық асқазаны – құс етін сою алаңдарында өңдеуден алынған жанама өнімдер. Құс етін тұтынудың үнемі артуына байланысты олардың саны бірте-бірте өсті. Жануарлардың бұл ұлпалары белоктарға, негізінен коллагенге, майларға және минералдарға бай болғандықтан, оларды әрі қарай өңдеуді зерттеу маңызды және пайдалы. Коллагенді тауық етінен алуға болады және оны тамақ, косметика, медициналық және фармацевтика өнеркәсібінде шикізат ретінде пайдалануға болады.

Құс ұшасынан ішкі мүшелерді алу технологиялық процесі келесідей жүзеге асырылады: бұлшықет асқазаны қаңқадан сәл тартылады, ішектен пышақпен немесе қайшымен кесіледі, безді асқазанның үстіндегі дөңгелек бұлшықет кесіледі. Науа арқылы бұлшықет асқазаны сумен дискіге тасымалданады. Ол машинада немесе қолмен пышақпен ұзына бойына кесіліп, ішіндегісінен босатылып, сумен жуылады. Асқазанның сыртқы қабығы бір-біріне қарай айналатын екі гофрленген роликтен тұратын механизм арқылы жойылады. Ол роликтердің гофрленген бетімен ұсталады және олардың арасына созылады, ал үлкен массасы бар асқазанның бұлшықет тіндері гофрленген бетке қарай жылжиды. Одан кейін асқазан қабығы техникалық мақсаттарға, ал өңделген және жартылай салқындатылған асқазандарды орау және салқындату немесе мұздату үшін кәдеге жаратуға жіберіледі [5].

Бүгінгі күні құстың асқазан қабығы тағамдық және емдік-профилактикалық мақсаттарда қолдану аз зерттелген, негізінен, мысалы, бройлер тауықтың асқазан коллагенінен желатин алу әдісі белгілі. Бұл мақалада протеолитикалық Протамекс ферментімен алдын ала биотехнологиялық өңдеуден кейін коллаген өнімдерін, желатиндерді немесе балама түрде тауық асқазандарынан гидролизаттарды алу мүмкіндігі қарастырылады. Бұл өнім, авторлардың пікірінше, азық-түлік, фармацевтика және косметикалық салаларда әлеуетті қолданылуы бар желатинге өңдеуге арналған перспективалы тағамдық жанама өнім болып табылады. Ұсынылған технология азық-түлік тұрақтылығына ғана емес, сонымен қатар қалдықсыз экономика модельдеріне де ықпал етеді [6].

Сүйексіз тауық етінің жанама өнімі болып табылатын желатиндерді механикалық жолмен өндіруді сипаттайтын зерттеулер бар. Бастапқы материалды кондициялау сілтілі ортада немесе сілтілі және қышқылдық ортаның қосындысында жүреді. Экстракция жағдайына байланысты экстракцияланған желатиннің мөлшері 6-дан 16%-ға дейін ауытқиды. Көптеген тіндерде ақуыздар, әсіресе коллаген көп, сондықтан желатин өндіруге жарамды. Қазіргі уақытта құстың кейбір тіндерін (коллагенге бай) желатин мен коллагенгидролизаттарға өңдеу шаралары бұрыннан белгілі [7-9].

Алайда, қалдықтарды желатин өндірісіне қайта өңдеу қазіргі уақытта өндірістік тәжірибеде жүзеге асырылмайды, өйткені бұл мәселеге арналған зерттеулер әлі де өте шектеулі. Сонымен қатар, шикізатты өңдеу шаралары қоршаған ортаға белгілі бір салмақ түсіретін қышқылдарды немесе негіздерді қолдануға негізделген. Бұл зерттеу тобы ақуыздарға, әсіресе коллагенге бай құс шаруашылығының қатты субөнімдерін (әсіресе тауықтың табандары, бастары, асқазандары мен терілері) өңдеудің биотехнологиялық процестерін әзірлеуге және дайын коллаген өнімдерін (желатиндер мен гидролизаттар) кейіннен тамақ пен косметикалық қолдану үшін пайдалануға баса назар аударды. Бұл ғылыми жұмыстың мақсаты әлі пайдаланылмаған бастапқы материалды ферментативті өңдеу арқылы жанама өнімді желатинге өңдеудің орындылығын тексеру болып табылады. [10].

Қазіргі уақытта құс фабрикалары тауық пепсинін шығарады. Тауық пепсині сүт өнеркәсібі үшін ең жаңа тиімді фермент болып табылады. Қатты ірімшіктерді және басқа сүт өнімдерін өндіру үшін қолданылады. Он успешно заменяет по целому ряду качеств известный сычужный фермент телят, а также заменители фермента животного и микробиального происхождения Ол бірқатар сапада, сондай-ақ жануар және микробтық текті ферментті алмастырғыштар бойынша белгілі бұзау ферментін ауыстырады.

Тауық пепсинін өндіру үшін құс ішектен алынған арзан және кең қол жетімді шикізат – тауықтардың, тауықтардың және бройлер тауықтарының безді асқазандары қолданылады.

Потрошения кезде безді асқазан өңештен бөлініп, қайшымен кесіліп, май бетінен алынып, жуылады. Тазартылған және жуылған асқазандар эмальданған контейнерлерге жиналады және -12°С – тан жоғары емес температураға дейін мұздатылады, ал сол кәсіпорында пепсин өндірілген кезде олар 0 °С дейін салқындатылады.

Тауық пепсині суда жақсы еритін құрғақ ақ ұнтақ. 1 тонна шикізаттан стандартты пепсиннің шығымы 213 кг.

Тауық пепсинін қолданудың технологиялық артықшылықтары:
− ірімшіктерде терең протеолиз туғызбайды және олардың сапасын нашарлатпайды;
− бактериялық тазалығы жағынан мәйекті ферментінен кем түспейді;
− ірімшіктің химиялық құрамын өзгертпейді;
− сақтау кезінде өнімнің сапасын төмендетпейді.

Құс асқазанының қабығынан хитин алудың белгілі әдісі бар, ол асқазанды бөлу, жуу, кептіру және ұнтақтау, содан кейін сумен, 55-90°С температурадағы каустикалық сода ерітіндісімен өңдеу және өнімді кептіру арқылы жүзеге асырылады. Бұл әдістің кемшілігі – 1,5-3,0% сілтілі ерітіндіні қолдану, бұл әдіс сілтіге төзімді жабдықты қолдануды талап етеді, бұл соңғы өнімнің құнын қымбаттатады және хитин - ақуыз алу кезінде бөлінетін жанама өнімнің сапасына теріс әсер етеді.

Тауықтың асқазанынан шұжық өндірудің белгілі әдісі бар. Бұл жұмыста шикізатты биотехнологиялық модификациялау әдісі қолданылады, шұжық өнімінің құрамы 40%-дан асатын құс еті мен асқазан етінен тұрады. Әзірленген өнім түпнұсқа органолептикалық сипаттамаларға ие.

Тауықтың асқазанының пайдасы осы субөнімдегі ақуыздың көп мөлшерінде, оларда ағзаның қалыпты өмір сүруі үшін қажетті дәрумендер мен қоректік заттар бар.

Рационалды тамақтану үшін тауықтың асқазанының ерекше пайдасы осы өнімдегі темір мен фолий қышқылының көп мөлшерінен тұрады. Бұл адамдардың организмдегі маңызды ферменттердің азайған кезде өте қолайлы. Ас қорытуды жақсарту үшін тауық асқазанының қабығын қолданылады. Бұл асқазанның ас қорыту ферменттерін қамтитын ішкі жағын жабатын сары қабықша. Асқазанның шырышты қабығында қалыпты ас қорытуға ықпал ететін заттарды шығаратын жасушалар бар. Сары қабықша жарқын, таза болуы керек, оны алып тастап, қағазға жылы, желдетілетін жерде кептіреді. Жоғары температурада кептіруге болмайды. Қабықшалар тез кебеді, қытырлақ болады, содан кейін оларды ұнтақтағышта ұнтақтайды. Сары фермент ұнтағын құрғақ шыны ыдыста немесе тығыз қорапта қараңғы, құрғақ, салқын жерде сақтау жақсы [11].

Зерттеу әдістері

Осы зерттеуде алдын ала өңдеу үшін пайдаланылған тауық асқазанының ішкі қабықшаларының үлгілері жергілікті қасапханадан алынған 5 апталық бройлер-балапандардан алынды (1 сурет). Алынған асқазанның ішкі қабықтары фосфатты буфері бар 0,01 моль/л физиологиялық ерітіндіні (pH 7,2) жуып, қағаз сүлгімен құрғатып сүртіп, алюминий фольгаға оралып, сұйық азотта сақталды [12].

Сурет 1 – Тауық асқазанының ішкі қабықшасы

Химиялық құрамы орташа сынама бойынша, жалпы қабылданған әдістерге сәйкес ылғалдың массалық үлесі – МЕСТ 33319-2015 бойынша, май – МЕСТ 23042-2015 бойынша, ақуыз – Кьельдаль әдісі бойынша МЕСТ 25011-2017 бойынша, күл – МЕСТ 31727-2012 муфель пешінде аспаны жағу арқылы анықталды (ISO 936:1998).

Аминқышқыл құрамын талдау өндірушінің нұсқаулықтарына сәйкес талдаудың бір реттік әдісі ретінде тиімділігі жоғары сұйықтық хроматографияның көмегімен жүргізілді.

Зерттеу нәтижелері

Тауық асқазанының бұлшық еттері қалың қабырғалы, анық білінетін талшықтары бар қапшығы болады. Олар ерекше дәмге ие және диеталық тағамда жиі қолданылады, ал тауық асқазанымен емдеу - өте танымал әдіс. Ең алдымен, біз тауықтың асқазанымен қапталған ішкі қабық туралы айтып отырмыз.

Тауықтың асқазанының ішкі қабығы (пленкасы) – тауыққа тұқымдар мен басқа да тағамдарды, соның ішінде дөрекі тағамдарды ыдыратуға және сіңіруге көмектесетін кішкентай бұлшықет. Барлық құстардың, соның ішінде үйректер мен күркетауықтардың да осындай қабығы бар. Ғылыми тұрғыдан ол кутикула деп аталады. Билирубин мен биливердиннің өт пигменттерінің әсерінен сарғыш-алтын түске ие. Ол барлық дерлік құстардың бұлшықет асқазанымен қапталған. Бірақ, тауық ең көп таралған құс болғандықтан, біз тауық қабығы туралы айтатын боламыз.

Алдын ала талдау және асқазанның ішкі қабығының түстік көрсеткіштері негізінен ылғал мен ақуыздан тұрады; басқа компоненттер май мен күл болды (1-кесте). Асқазанның ішкі қабығы қышқыл болды (pH 3,4). Асқазанның ішкі қабықтарының ең ерекше ерекшелігі бақылау деректерімен салыстырғанда белоктың жоғары болуы (42,3 г/100 г) және майдың төмен болуы (0,74 г/100 г). Шикі асқазан мен бройлер етіндегі ақуыз мөлшері асқазанның ішкі қабықтарына қарағанда төмен, ал шикі асқазан мен бройлер етіндегі май мөлшері асқазанның ішкі қабықтарына қарағанда жоғары екені анықталды. Бұл асқазанның ішкі қабығы етке немесе асқазанға қарағанда ақуыз пен қоректік заттардың ең жақсы көзі болып табылатынын көрсетеді (1-кесте).

Кесте 1 – Асқазанның ішкі қабығын, шикі асқазанды және бройлер етінің экспресс талдауы

Өнімдер	Асқазанның ішкі қабығы	Балапан еті	Бройлер еті
Ылғалдылығы (г/100 г)	57.01 ± 1.27	76.77	74.93 ± 0.20
Шикі протеин (г/100 г)	42.30 ± 1.58	19.20	20.46 ± 0.44
Шикі май (г/100 г)	0.74 ± 0.19	2.01	2.03 ± 0.09
Күл (г/100 г)	0.34 ± 0.07	1.21	1.17 ± 0.07
pH мәні	3.40 ± 0.04	-	-

Осы зерттеу барысында асқазанның ішкі қабығы глутамин қышқылына (13,16%), аспарагин қышқылына (11,41%), лейцинге (8,27%), валинге (8,00%) және аргининге (7,86%) бай екенін анықталды (2-кесте). Сонымен қатар, асқазанның ішкі қабығында адамға арналған тоғыз алмастырылмайтын аминқышқылдары (EAA) болды.

Кесте 2 – Тауық асқазанының ішкі қабығының аминқышқыл құрамы

Аминқышқылдар	Концентрациясы (мг/100 г)	AA жалпы саны (%)
Глутамин қышқылы (Glu)	11905	13.16
Аспарагин қышқылы (Asp)	10318	11.41
Лейцин (Leu)	7475	8.27
Валин (Val)	7233	8.00
Аргинин (Arg)	7109	7.86
Тирозин (Tyr)	6901	7.63
Изолейцин (Ile)	5563	6.15
Фенилаланин (Phe)	5305	5.87
Глицин (Gly)	5201	5.75
Треонин (Thr)	4451	4.92
Аланин (Ala)	4383	4.85
Серин (Ser)	3981	4.40
Пролин (Pro)	3194	3.53
Лизин (Lys)	2333	2.58
Цистеин (Cys)	2114	2.34
Триптофан (Trp)	1299	1.44
Метионин (Met)	1061	1.17
Гистидин (His)	614	0.68
Барлығы AA	90440	100.00
Барлығы AA/барлығы AA	35334	39.07

Екі негізгі амин қышқылы (глутамин және аспарагин қышқылдары) әртүрлі тамақ өнімдерінде болады және олар умами компоненттері ретінде белгілі. Атап айтқанда, глутамин қышқылы тамақ қоспасы және оның натрий тұзы (натрий глутаматы) түріндегі дәмін күшейтуші ретінде жиі пайдаланылады және оны тамақ өнеркәсібінде натрий глутаматын алу үшін шикізат ретінде пайдалануға болады. Тауық еті мен оның ішкі өнімдері сорпа дайындауда жиі қолданылады, ал қыздырылған тауық еті сорпасындағы бос глутамин қышқылының деңгейі сиыр мен шошқа етіне қарағанда айтарлықтай жоғары.

Ғылыми нәтижелерді талқылау

Дәстүрлі қытай медицинасы тауық асқазанының ішкі қабығы денсаулыққа белгілі бір пайдасы бар деп мәлімдейді, ішкі өнім асқазан жарасы, асқазанның күйіп қалуы, атрофиялық гастрит, қышқылдық рефлюкс және асқазан пролапсы сияқты ас қорыту бұзылыстарын емдеудің емдік тәсілі болып табылатын ас қорытуды жақсартатын және сұйықтықтың бөлінуін қатайтатын құрал ретінде беделге ие болды. Тауық асқазандарының ішкі қабығында артық мөлшерде темір, мырыш, магний, мыс, селен, фолий қышқылы және В, А дәрумендері болады – бұл өте пайдалы.

Қытайда тауық асқазанының қабықшасы жүздеген аурулардың емі болып саналады - олар асқазан жарасын емдейді, бүйрек тастарын ерітеді, ас қорытуды емдейді және қандағы қантты төмендетеді. Бұл асқазан қабықшасы әртүрлі тәсілдермен дайындалады. Бірақ Ли Шан Юйдің «Қытай медицинасының 150 рецепті» кітабында олар оны келесідей дайындауды ұсынады:

Бірнеше тауық асқазанын алып және олардан терінің қалың ішкі қабатын алып тастаңыз, бірақ асқазанның ішіндегі құрамын бірден жууға болмайды, әйтпесе қабықшаны бөлу қиын болады. Қабықшаны алып тастағаннан кейін ғана шайады. Пеште, 40^0 С аспайтын температурада немесе күнге кептіреді. Содан кейін майдалап турап, қызарғанша баяу отта қуырып, жақсы желдетілетін жерде салқындатады.

Ол 0,5-тен 1 шай қасыққа дейін ұнтақ түріндегі тәуелсіз дәрі ретінде қолданылады, науқастың салмағына байланысты бір-үш рет қабылдауға, сондай-ақ басқа компоненттермен бірге қолданылады. Кептіру сәтінен бастап олардың тиімділігі ең көбі 5 күнге созылады. Содан кейін қабықшалардағы ферменттер айтарлықтай төмендейді [13, 14].

Тауық асқазанының қабығынан алынған ұнтақ асқазан-ішек жолдары үшін кеңінен танымал өнімдерді, сондай-ақ барлық дерлік күрделі ферменттік пептидтерді өндіруде кеңінен қолданылады деп айту керек.

Тауық асқазанының кептірілген қабығынан алынған ұнтақ мал шаруашылығында өте кең қолданылады. Табиғи құрал ретінде ол құс еті мен ауылшаруашылық жануарларының жеміне фермент ретінде қосылады, бұл өрескел жемнің ыдырауы мен қорытылуын жеңілдетеді. Бұл қандай нәтижелерге қол жеткізеді: неғұрлым толық ас қорыту, осының арқасында жем үнемделеді, өйткені жануарға қанықтыру үшін аз мөлшерде қажет, өнімділік көрсеткіштері артады, ағзаға қажетті қоректік заттар мен аминқышқылдарының толық бөлінуіне байланысты, ас қорыту жүйесінің жұмысын жақсарту арқылы жануарлар мен құстардың жалпы иммунитеті артады. Сонымен қатар, ол бұзауларға ішек жарылған кезде ішуге беріледі.

Үй шаруашылығында бұл өнім үй ірімшігін өндіруде мәйекті фермент алмастырғыш ретінде қолданылады. Сонымен қатар, бір қабықты үш есеге дейін қолдануға болады.

Тауық асқазанының қабығын дайындау үшін алдымен қабықты асқазаннан бөліп, ағынды сумен шаю керек. Содан кейін ол кептіріледі, бірақ қабықты тым жоғары температураға ұшыратпайды, өйткені, көптеген белсенді заттар бұған жол бермейді және ыдырайды. Барлық пайдалы қасиеттерді оңтайлы сақтау үшін материал алынған ортаның (ағзаның) температурасын басшылыққа алу керек. Сонымен, тауықтың қалыпты дене температурасы 40^0С құрайды. Тиісінше, тауық асқазанының қабығын кептіру температурасы оған жақын болуы керек. Ең дұрысы, тауық асқазанының кептірілген қабығы жұқа қабықша, кейде мөлдір болады. Содан кейін ол ұнтақ болып ұнтақталған. Дайындама қажетінше пайдаланылады, оны басқа маңызды компоненттермен араластыруға болады. Кептірілген тауық еті құрғақ және қараңғы контейнерлерде құрғақ, желдетілетін жерде ұзақ уақыт сақталады. Ауа ылғалдылығының жоғары болмауы маңызды. Тауық етінің қабығын технологиялық өңдеу бойынша ұсыныстар:

– пленканы асқазаннан бөлу (тек тауықтың емес, кез келген құстың асқазанын алуға болады);

– мұқият жуу;

– пленканы 40^0С температурада немесе қағазда құрғақ, жылы, жақсы желдетілетін жерде кептіру;

– олар қатты болғанша 2-3 күн кептіру;

– ұнтақтау;

– құрғақ, қараңғы жерде сақтау;

– мақсатты пайдалану.

Қорытынды

Осылайша, тауық асқазанының ішкі қабығын ұтымды пайдалану арқылы құс етінің қосалқы өнімдерінің қалдықсыз технологиясына қол жеткізуге болады. Жоғарыда айтылғандардың барлығын қорытындылай келе, тауық асқазанының қабығы қорытуды жақсарту, тағамның тоқырауын азайту үшін қоспа ретінде; бүйрек пен зәр шығару жолдарын емдеуде; фармакологиядағы асқазан-ішек жолдарының (АІЖ) емдік агенттерінің құрамдас бөлігі ретінде; құс және мал азығында ферменттік қоспа ретінде; ірімшік жасау мәйекті фермент ретінде қолданады.

Әдебиеттер тізімі

1. Determination of angiotensin-I converting enzyme inhibitory peptides in chicken leg bone protein hydrolysate with alcalase / F.Y. Cheng et al // Anim. Sci. J. – 2009. – № 80. – P. 91-97.
2. The in vitro antioxidant properties of alcalase hydrolysate prepared from silkie fowl (Gallus gallus) blood protein / F.Y. Cheng et al // Anim. Sci. J. – 2016. – № 87. – P. 921-928.
3. Шашков М.С. Құс шаруашылығы өнімдерін қайта өңдеу технологиясы: Оқу-әдістемелік құрал / М.С. Шашков, А.И. Портной. – Горки: БГСХА, 2018. – 194 б.
4. Баяхметов А.К. Қазақстанның Ақмола облысында ет құс шаруашылығын дамыту. – Мәтін: тікелей / А.К. Баяхметов // Жас ғалым. – 2023. – № 19(466). – Б. 159-162.
5. Құс етін сою, кесу және өңдеу технологиясы. https://mastermilk.com/blog/tehnologiya-uboya-ptitsy
6. Preparation of protein products from collagen-rich poultry tissues / A. Polastikova et al // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – September 2020.
7. Valorization of a By-Product from the Production of Mechanically Deboned Chicken Meat for Preparation of Gelatins / P/ Mokrejš et al // Molecules. – 2021. – № 26 (2). – P. 349.
8. Пат. RU2269913C1, МПК A23L 1/33 (2006.01). Способ получения хитина / Уланова Р.В., Кравченко И.К.; заявитель и патентообладатель Уланова Р.В., Кравченко И.К.; завл. 27.11.2012; опубл. 27.08.2014, – 7 с.
9. Biomodifying chicken stomachs formanufacturing ham product / M. Patshina et al // Agro-Bio-Technologies. BIO Web of Conferences. – 2023 – № 64(2). https://doi.org/10.1051/bioconf/20236401005.
10. Польза куриных желудков. Пищеварительные ферменты из кутикулы. https://coonplace.livejournal.com/59527.html
11. Тауықтың асқазанының ішкі қабығы: қолдану. https://dzen.ru/id/5f539a9d72b2bd46972d5625.
12. Investigation of the Chemical Composition and Functional Proteins of Chicken Gizzard Inner Lining /Chien-Hsiang Ni et al // Food Science and Technology Research. – 2018. – № 24 (5). – P. 893-901.
13. Тауық асқазанының қабықшасымен емдеу. https://vzkfarm.ru/.
14. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review / J. Kizhekkedath et al // Journal of Food Science and Technologyriginal – 2022.

References

1. Determination of angiotensin-I converting enzyme inhibitory peptides in chicken leg bone protein hydrolysate with alcalase / F.Y. Cheng et al // Anim. Sci. J. – 2009. – № 80. – R. 91-97. (In English).
2. The in vitro antioxidant properties of alcalase hydrolysate prepared from silkie fowl (Gallus gallus) blood protein / F.Y. Cheng et al // Anim. Sci. J. – 2016. – № 87. – R. 921-928. (In English).
3. Shashkov M.S. Құs sharuashylyғy өnimderin қaita өңdeu tekhnologiyasy: Oқu-әdistemelik құral / M.S. Shashkov, A.I. Portnoi. – Gorki : BGSKHA, 2018. – 194 b. (In Kazakh).
4. Bayakhmetov A.K. Қazaқstannuң Aқmola oblysynda et құs sharuashylyғyn damytu. – Mәtin: tikelei / A.K. Bayakhmetov // Zhas ғalym. – 2023. – № 19(466). – B. 159-162. (In Kazakh).
5. Құs etin soyu, kesu zhәne өңdeu tekhnologiyasy. https://mastermilk.com/blog/tehnologiya-uboya-ptitsy. (In Kazakh).
6. Preparation of protein products from collagen-rich poultry tissues / A. Polastikova et al // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – September 2020. (In English).
7. Valorization of a By-Product from the Production of Mechanically Deboned Chicken Meat for Preparation of Gelatins / P/ Mokrejš et al // Molecules. – 2021. – № 26 (2). – R. 349. (In English).
8. Pat. RU2269913C1, MPK A23L 1/33 (2006.01). Sposob polucheniya khitina / Ulanova R.V., Kravchenko I.K.; zayavitel' i patentoobladatel' Ulanova R.V., Kravchenko I.K.; zavl. 27.11.2012; opubl. 27.08.2014, – 7 s. (In Russian).

9. Biomodifying chicken stomachs formanufacturing ham product / M. Patshina et al // Agro-Bio-Technologies. BIO Web of Conferences. – 2023 – № 64(2). https://doi.org/10.1051/bioconf/20236401005. (In English).
10. Pol'za kurinykh zheludkov. Pishchevaritel'nye fermenty iz kutikuly. https://coonplace.livejournal.com/59527.html. (In Russian).
11. Тауықтың асқазанының ishki қабуғу: қoldanu. https://dzen.ru/id/5f539a9d72b2bd46972d5625. (In Kazakh).
12. Investigation of the Chemical Composition and Functional Proteins of Chicken Gizzard Inner Lining /Chien-Hsiang Ni et al // Food Science and Technology Research. – 2018. – № 24 (5). – R. 893-901. (In English).
13. Тауық асқазанының қабуқshasymen emdeu. https://vzkfarm.ru/.(In Kazakh).
14. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review / J. Kizhekkedath et al // Journal of Food Science and Technologyriginal – 2022. (In English).

М.Т. Мурсалыкова[1]*, Ж.Н. Баяшева[2], Г.А. Кокаева[2], А.М. Шуленова[2], Е.Т. Кажибаева[2]
[1]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
[2]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Жеңіс, 62
*e-mail: maigul_85@mail.ru

АНАЛИЗ БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ КУРИНЫХ ЖЕЛУДКОВ В ПИЩЕВЫЕ И ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ

В статье представлен анализ и научное исследование безотходной технологии переработки куриных желудков. Сохранение и рациональное использование мяса и других продуктов птицеводства является важнейшей задачей птицеперерабатывающей отрасли. Рациональную переработку можно обеспечить только на основе безотходной технологии – это удаление внутренних органов из всей тушки птицы, производство птицеводческой продукции с использованием внутренних органов и жира. Экономическое благополучие птицеперерабатывающего предприятия во многом зависит от того, насколько эффективно оно использует сырье, основные и побочные продукты переработки птицы. Важно не только работать без отходов сырья и продукции, но и использовать их оптимально. Используя соответствующие технологии переработки, неиспользуемые части тел животных можно преобразовать в полезные продукты, использование которых снижает экономическую и экологическую нагрузку на производителей этих отходов. Полученные продукты могут найти широкое применение, например, в пищевой промышленности, в лечебно-профилактической работе, а также при производстве кормов для сельскохозяйственных и домашних животных. В ходе исследования изучен химический и аминокислотный состав куриных желудочных субпродуктов, а также предложено рациональное использование куриных желудочных субпродуктов для получения биологически активных добавок пищевого и лечебно-профилактического назначения.

***Ключевые слова**: безотходная технология, рациональное использование, побочные продукты, оболочка куриных желудков, биологически активные добавки, пищевые продукты.*

M. Mursalykova[1]*, Zh. Bayasheva[2], G. Kokayeva[2], A. Shulenova[2], Y. Kazhibayeva[2]
[1]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka str.
[2]Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Zhenis Ave. 62
*e-mail: maigul_85@mail.ru

ANALYSIS OF WASTE-FREE TECHNOLOGY FOR PROCESSING CHICKEN STOMACHS FOR FOOD AND THERAPEUTIC AND PROPHYLACTIC PURPOSES

This article presents the analysis and scientific research of waste-free technology of chicken stomachs processing. Preservation and rational utilization of meat and other poultry products is the primary task of the poultry processing industry. Rational processing can be ensured only on the basis of waste-free technology - this is a complete gutting of poultry, production of poultry meat products using giblets and fat. The economic well-being of a poultry processing plant depends to a large extent on how efficiently it utilizes raw materials, main and by-products of poultry processing. It is important not only to operate without loss of raw materials and products, but also to utilize them optimally. With the use of appropriate processing technologies, unused animal body parts can be recycled into useful products and their utilization will also reduce the economic and

environmental burden on the producers of these wastes. The prepared products can be widely used, for example, in the food industry, therapeutic and prophylactic, as well as in the production of feed for livestock and pets. In the course of the research the chemical and amino acid composition of poultry stomach by-products has been studied, and the rational utilization of the inner shell of chicken stomachs for obtaining biologically active additives for food and therapeutic and prophylactic purposes has been proposed.

Key words: *waste-free technology, rational utilization, by-products, cuticle, dietary supplements, food products.*

Авторлар туралы мәліметтер

Майгуль Тауржановна Мурсалыкова* – PhD докторы, Шәкәрім университеті, постдокторанты, Қазақстан, Семей; e-mail: maigul_85@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5904-9544.

Жайнагул Нурланқызы Баяшева – «Тамақ және өңдеу өнеркәсібінің технологиясы» кафедрасынын магистранты, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: bayashevazh@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0605-7177.

Гульнара Айтикеновна Кокаева – техника ғылымдарынын кандидаты, «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: GAKokaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9571-5081.

Асем Манарбековна Шуленова – «Тамақ және өңдеу өнеркәсібінің технологиясы» кафедрасынын докторанты; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: shulenovaa@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/ 0009-0003-2812-075X.

Еркежан Тулеубаевна Кажибаева – техника ғылымдарының магистрі, «Тамақ және қайта өңдеу өндірісінің технологиясы» кафедрасы; «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Қазақстан Республикасы; e-mail: kazhybaeva.erkezhan@mail.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-9806-6735.

Сведения об авторах

Майгуль Тауржановна Мурсалыкова* – доктор PhD, постдокторант, Шәкәрім университет, Казахстан, СемейҢ e-mail: maigul_85@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5904-9544.

Жайнагул Нурланқызы Баяшева – магистрант кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан; e-mail: bayashevazh@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0605-7177.

Гульнара Айтикеновна Кокаева – кандидат технических наук, ассоцированный профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан; e-mail: GAKokaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9571-5081.

Асем Манарбековна Шуленова – докторант кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан; e-mail: shulenovaa@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/ 0009-0003-2812-075X.

Еркежан Тулеубаевна Кажибаева – магистр технических наук, преподаватель кафедры кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан; e-mail: kazhybaeva.erkezhan@mail.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-9806-6735.

Information about the authors

Maigul Mursalykova* – Dr. PhD, postdoctoral fellow, Shakarim University, Kazakhstan, Semey; e-mail: maigul_85@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5904-9544.

Zhainagul Bayasheva – magistrant student of the Department «Technology of food and processing industries», S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Republic of Kazakhstan; e-mail: bayashevazh@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-0605-7177.

Gulnara Kokayeva – candidate of tehnical sciences, Associate Professor of the Department of «Technological Machines and Equipment» S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Republic of Kazakhstan; e-mail: GAKokaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9571-5081.

Assem Shulenova – Doctoral student of the Department «Technology of food and processing industries», S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Republic of Kazakhstan, Astana; e-mail: shulenovaa@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/ 0009-0003-2812-075X.

Yerkezhan Kazhibayeva – Master of Technical science, department «Technology of food and processing industries»; S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University; Republic of Kazakhstan; e-mail: kazhybaeva.erkezhan@mail.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-9806-6735.

Редакцияға енуі 02.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 31.07.2025
Жариялауға қабылданды 01.08 .2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-32

BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 68.35.53

Г.К. Искакова, А.С. Абдреева*, М.П. Байысбаева, А.К. Изембаева, Д.А. Шаншарова
Алматы технологиялық университеті,
050012, Қазақстан, Алматы қ., Төле би көш., 100
*e-mail: abdreeva.95@mail.ru

ҚАРА ШЕТЕН ЖЕМІСТЕРІНІҢ САПАСЫН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ОЛАРДАН ЭКСТРАКТІЛЕР МЕН КОНЦЕНТРАТТАР АЛУ

Аңдатпа: *Мақалада адам денсаулығын сақтау үшін қажетті қара шетен жемістеріндегі полифенолдардың, флавоноидтардың, β-каротиннің құрамын зерттеу нәтижелері келтірілген және Еңбекшіқазақ ауданы Қайназар ауылының бөктерінде жиналған қара шетен жемістеріндегі полифенолдардың мөлшері 3,77%, Талғар ауданы Ақбұлақ ауылының бөктерінде жиналған жемістерде – 4,07%, Талғар ауданының Қарабұлақ ауылының бөктерінде жиналған жемістерде - 4,4% құрайтыны анықталды. Флавоноидтардың мөлшері сәйкесінше 2,24; 2,65; 2,71%, β-каротин – 0,185; 0,203 және 0,229 мг/100 г құрайды. Қарабұлақ ауылының бөктерінде жиналған жемістердегі полифенолдардың, флавоноидтардың және β-каротиннің мөлшері Қайназар ауылы мен Ақбұлақ ауылының бөктерінде өсетін қара шетен жемістерінің ұқсас көрсеткіштерінен асып түседі. Қара шетен жемістерінен экстрактілер мен концентраттар алудың технологиялық схемасы жасалды. Жемістерден спиртті экстрактілері мен концентратын алудың технологиялық үдерісі келесі кезеңдерден тұрды: өсімдік шикізаты мен экстрагентті дайындау, ұнтақтау және електен өткізу, ультрадыбыстық экстрактордағы экстракция, сүзу, тазарту, концентрациялау, пастерлеу және орау. Үлгілерді алудың келесі режимдері ұсынылды: ультрадыбыстық толқындардың жиілігі 35 кГц, экстракция уақыты 45 минут, температура 50^{0}С, ал алынған экстрактілердің концентрациясы 40-50^{0}С температурада және 800 мбар қысымда Ika RV-10 маркалы аппаратты қолдана отырып, вакуумдық булану әдісімен жүзеге асырылды.*

Түйін сөздер: *қара жемісті, сапа, экстрагент, экстракциялық заттардың шығымы, ультрадыбыстық экстракция, экстрактілер, концентраттар, технологиялық процестің схемасы.*

Кіріспе

Халықтың көпшілігінің рационы дұрыс тамақтану принциптеріне сәйкес келмейді, бұл артық салмақ пен семіздіктің өсуіне, қант диабетінің, жүрек-қан тамырлары ауруларының және т.б. даму қаупін арттыруға ықпал етеді. Осыған байланысты табиғи биологиялық белсенді заттармен (ББЗ) байытылған, оның ішінде өсімдік тектес тамақ өнімдерінің өндірісін дамыту қажеттілігі туындады [1-3]. Мұндай азық-түлік өнімдерінің ассортиментін дәстүрлі өнімдердің рецептеріне құрамында құнды табиғи компоненттер, табиғи бояғыштар мен консерванттар кешені бар жеміс-жидек шикізаты мен өңделген өнімдерді қосу арқылы көбейткен жөн, бұл тағамдық құндылықты арттырады, антиоксиданттық қасиеттер береді және органолептикалық қасиеттері жоғары және сақтау мерзімі ұзартылған өнімдерді алады [4, 5].

Тағам өнімдерін байытушы қоспалар ретінде ерекше қызығушылықты өңделген жеміс өнімдері, оның ішінде қара жемісті шетен тудырады. Қара шетен жемісі пайдалы қасиеттерінің кең ауқымы бар көптеген биоактивті қосылыстардың көзі болып табылады. Оның жидектері полифенолды қосылыстардың бай көзі екені белгілі [6, 7]. Жемістерде барлығы 27 полифенолды қосылыс табылды, оның ішінде 7 антоцианин, 11 флавонол, 5 фенол қышқылы, 3 флаван-3-ол және 1 флаванон [8-10].

Сондай - ақ, полифенолды қосылыстардан басқа, жидектер пектиндік заттардың, макро және микроэлементтердің, сондай-ақ цинга, бери-бери және т.б. сияқты аурулардың алдын алуда маңызды рөл атқаратын дәрумендердің жоғары құрамымен сипатталатынын атап өткен жөн. [11, 12]. Қара шетен өзінің жоғары антиоксиданттық белсенділігіне байланысты жүрек-тамыр жүйесі мен асқазан-ішек жолдарының ауруларын емдеуде оң әсер етеді [13, 14]. Бұл шетеннің және оның өнімдерінің ең жоғары антиоксиданттық белсенділігіне байланысты, ол көкжидек, мүкжидек, қара және қызыл қарақат, таңқурай, аюбадам және құлпынайдың антиоксиданттық белсенділігінен асып түседі [15].

Қара шетен жидектері полифенолды қосылыстар мен диеталық талшықтардың жоғары болуына байланысты салмақты бақылау үшін пайдалы. Қара шетендегі биологиялық белсенді

заттар қандағы глюкоза деңгейін реттеуге көмектеседі, липолизге және липидтер алмасуына пайдалы әсер етеді, сондай-ақ тәбетті бақылауға көмектеседі. Сонымен қатар, қара шетен құрамындағы қосылыстар инсулин өндірісіне жауап беретін ұйқы безінің β-жасушаларының зақымдалуын болдырмайды. Сондай-ақ антоцианиндердің көп болуына байланысты шетен жидектерінен табиғи тағамдық бояғыштар алуға болады [15]. Қара шетен қатерлі ісіктің әртүрлі түрлерінің, соның ішінде лейкемияның, сүт безінің және тоқ ішектің қатерлі ісігінің, сонымен қатар бағаналы жасушаларының қатерлі ісігін дамуын басу мүмкіндігіне ие [16].

Осылайша, әдеби деректерді талдау көрсеткендей, қара шетен жемістерінде құнды табиғи компоненттер кешені бар, антиоксиданттық белсенділігі жоғары, бұл оларды тағамдық құндылықты арттыруға және пайдалы тағамдардың ассортиментін кеңейтуге ықпал ететін тағамдық ингредиенттер ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Алайда жеміс-жидек шикізатының, атап айтқанда қара шетеннің өсу жағдайларына және басқа факторларға байланысты химиялық құрамы мен функционалдық және технологиялық қасиеттері туралы ғылыми ақпараттың шектеулі және қарама-қайшы болуы шикізат базасын кеңейту, олардан экстрактілер алу және оларды тағамдық өнімдердің функционалдық ингредиенттері ретінде пайдалану мүмкіндігін арттыру мақсатында олардың сапасын, химиялық құрамын зерттеу қажеттілігін алдын ала анықтайды.

Зерттеу шарттары мен әдістері

Зерттеу объектілері Алматы облысынан алынған қара шетен жемістерінің 3 сынамасы болды: № 1 сынама – Еңбекшіқазақ ауданындағы Қайназар ауылының тау бөктерінен жиналған, № 2 сынама – Талғар ауданындағы Ақбұлақ ауылының бөктерінен жиналған, №3 сынама – Талғар ауданына қарасты Қарабұлақ ауылының етегінен жиналған қара шетен жемістері.

Зерттеу барысында келесі көрсеткіштер анықталды: полифенол мөлшері МЕМСТ Р 55488-2013, β-каротин – МЕМСТ 54058-2010, флавоноидтар – МЕМСТ Р 55312-2012.

Талданған үлгілерден экстрактілер мен концентраттар алынды. «Сапфир 4,0» ультрадыбыстық ваннасында ультрадыбыстық әдісті қолдану арқылы шетен жидектерінің экстрактілері алынды (1-сурет). Ультрадыбыстық экстракция – экстракциялық ортаны ультрадыбыстық толқындардың әсеріне ұшырату арқылы әртүрлі көздерден, соның ішінде өсімдіктерден, жемістерден және көкөністерден биологиялық белсенді қосылыстарды алу үшін қолданылатын әдіс [17, 18].

Сурет 1 – Сапфир 4,0 ультрадыбыстық ваннаны пайдаланып қара шетен жемістерінен сығынды алу

Абсолютті құрғақ шикізатқа негізделген экстракциялық заттардың (Х) мөлшері пайызбен (1) формула бойынша есептеледі:

$$X = \frac{m \times 200 \times 100}{m_1 \times (100 - W)} \quad (1)$$

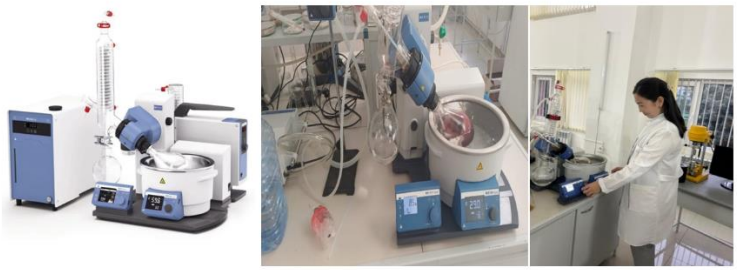
мұндағы: m – құрғақ қалдық массасы, г;
m_1 – шикізаттың массасы, г;
W – шикізатты кептіру кезіндегі массаның жоғалуы, %.

Кептіру кезіндегі шығын (Вт) келесі формула (1) арқылы есептелді:

$$W = \frac{(m - m_1) \times 100}{m} \quad (2)$$

мұндағы: m – кептіруге дейінгі масса, г;
m_1 – кептіруден кейінгі масса, г.

Алынған сығындылар IKA RV-10 роторлы буландырғыштың көмегімен вакуумды булану арқылы концентрленді (2-сурет). Құрылғы сұйықтықты булану арқылы лезде кетіруге арналған.



Сурет 2 – IKA RV-10 роторлы буландырғыш көмегімен қара шетен жемістерінен концентрат алу

Зерттеу нәтижелері

Биологиялық белсенді заттар адам ағзасының өмірлік маңызды функцияларын сақтау үшін қажет, бірақ қазіргі уақытта оларды алудың балама көздерін табу мәселесі бар. Мәселені өсімдік шикізатынан табиғи мақсатты компоненттерді алу арқылы ішінара шешуге болады. Осыған байланысты биологиялық белсенді қосылыстар алу үшін жеткілікті мөлшерде өндеуге болатын жеміс-жидек ресурстарын пайдалану үлкен қызығушылық тудырады. Оларды қолдану ұқсас заттардың химиялық синтезіне қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие. Жеміс өсімдіктерінің ішінде қара шетен жемістерін ерекшелеуге болады, өйткені олардың құрамында биологиялық белсенді заттардың кең ауқымы бар [19].

Қара шетен жемістерінің келесі көрсеткіштері зерттелдк: полифенол құрамы, β-каротин және флавоноидтар.

Қара шетен жемістеріндегі қоректік заттардың мөлшері туралы мәліметтер 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Қара шетен жемістеріндегі негізгі биологиялық белсенді заттардың мөлшері

Көрсеткіштердің атауы	Бірлік өзгерту	Қара шетен жемістері		
		Үлгі № 1	№ 2 үлгі	№ 3 үлгі
Полифенолдар	%	3.77±0,04	4.07±0,05	4.40±0,05
Флавоноидтар	%	2.24±0,03	2.65±0,03	2.71±0,03
β-каротин	мг/100 г	0,185±0,002	0,203±0,002	0,229±0,003

Флавоноидтар – липидтердің асқын тотығу процестерін тежейді. Капиллярлардың сынғыштығын төмендетеді, аскорбин қышқылының әсерін күшейтеді, седативті, антиоксидантты, кардиотропты, спазмолитикалық, гипотензивті, несеп айдағыш, гепатопротекторлық, гемостатикалық әсерге ие, қабынуға қарсы, жараға қарсы және сәулеленуге қарсы әсер етеді [5, 20].

Полифенолдар – бұл әртүрлі өсімдіктерде кездесетін ерекше қосылыстар. Біз көкөністерді, жемістерді, жидектер мен көк шөптерді жеген кезде, полифенолдар денеге еніп, дені сау, жігерлі болуға және көптеген аурулардың дамуынан өзімізді қорғауға көмектеседі. Бұл өсімдік заттары біздің жасушаларымыздың ДНҚ-сымен әрекеттеседі және ішек микробиомасын бақылайды.

Каротиноидтар – синглентті оттегін сөндіргіш ретінде және токоферол радикалдарын қалпына келтіреді. Олар ДНҚ-ның, ақуыздардың құрылымы мен функционалдық белсенділігін сақтауға көмектеседі, мембраналық липидтердің полиқанықпаған май қышқылдарын қорғайды, склеротикалық әсерге ие, организмнің онкологиялық патологияларға төзімділігін арттырады [5].

1-кестеде №1 үлгіде полифенолдардың мөлшері 3,77%, №2 үлгіде – 4,07%, №3 үлгіде – 4,4% екені көрсетілген. Флавоноидтардың мөлшері сәйкесінше 2,24; 2,65; 2,71%, β-каротин – 0,185; 0,203 және 0,229 мг/100 г. Талғар ауданы Қарабұлақ ауылының бөктерінде жиналған жемістердегі полифенолдардың, флавоноидтардың және β-каротиннің мөлшері Еңбекшіқазақ ауданы Қайназар ауылының бөктерінде және Талғар ауданы Ақбұлақ ауылының бөктерінде өсетін қара жемісті шетен жемістерінің ұқсас көрсеткіштерінен асып түседі.

Рационалды экстрагентті таңдау үшін келесі еріткіштер пайдаланылды: этил спиртінің сулы ерітінділері (30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% және 96%). 5 г ұсақталған шикізатты 250 мл колбаға салады, 50 мл экстрагентті қосып, ультрадыбыстық ваннаға салады (1-сурет). Экстракция ұзақтығы 15 минуттан 75 минутқа дейін, 15 мин аралықпен, ультрадыбыстық жиілік 35 кГц. Зерттеу нәтижелері 2-кестеде берілген.

Кесте 2 – Қара жемісті шетеннің экстрактивті заттарының шығымына экстрагенттің әсері

Экстрагент	Экстрактивті заттардың шығымы, %		
	Үлгі №1	№2 үлгі	№3 үлгі
Этанол 30%	110,327	126,23	111,884
Этанол 40%	112,743	123,12	110,043
этанол 50%	90,547	125,19	102,406
Этанол 60%	92,0	116,19	97,6159
Этанол 70%	98,321	125,49	109,7536
Этанол 80%	99,635	121,51	104,379
Этанол 96%	90,314	114,37	90,2608

2-кестедегі мәліметтерге сүйене отырып, оңтайлы экстрагент 30% этил спирті болып табылды, онда экстрактивті заттардың ең көп шығымы анықталды деген қорытынды жасалды. Сондықтан, бұл концентрацияны біз одан әрі эксперименттер үшін негізгі экстрагент ретінде таңдаймыз.

3-кестеде экстракция ұзақтығының экстракциялық заттардың шығымына әсерін зерттеу нәтижелері көрсетілген. 3-кестедегі деректерден экстракциялық заттардың ең жоғары шығымдылығы 45 минуттық экстракция ұзақтығымен алынғаны көрініп тұр.

Кесте 3 – Экстракция ұзақтығының экстракциялық заттардың шығымына әсері

Экстракция ұзақтығы	Этанол 30%	Этанол 40%	этанол 50%	Этанол 60%	Этанол 70%	Этанол 80%	Этанол 96%
Үлгі № 1							
15 мин	26,328	24,612	22,602	24,024	18,824	18,610	14,834
30 мин	28,128	27,008	24,832	27,024	20,570	20,430	15,030
45 мин	33,344	30,802	30,584	31,820	27,342	29,620	16,660
60 мин	32,628	31,746	29,830	29,630	26,830	29,140	20,568
75 мин	32,654	32,014	32,156	31,384	30,360	24,370	23,992
№ 2 үлгі							
1	2	3	4	5	6	7	8
15 мин	31,924	32,50	29,98	32,96	31,64	31,64	15,44
30 мин	39,048	31,06	32,84	38,90	38,90	33,46	38,28
45 мин	41,272	40,82	41,01	40,60	40,44	37,60	26,64
60 мин	32,78	36,82	38,94	39,56	40,28	38,74	29,52
75 мин	38,92	40,62	40,54	40,36	40,0	40,32	31,82
№ 3 үлгі							
15 мин	34,592	25,018	33,474	31,148	28,04	24,842	19,48
30 мин	32,188	38,332	37,224	33,456	36,184	31,256	26,858
45 мин	43,766	39,4	36,594	39,818	40,776	39,23	32,224
60 мин	39,014	38,772	41,374	37,588	38,326	40,562	34,022
75 мин	40,422	39,354	30,002	40,6272	42,102	41,248	35,082

Зерттеу нәтижелерінің негізінде біз қара шетен жемістерінен спиртті экстрактілерін алу үшін ультрадыбыстық экстракцияның оңтайлы параметрлерін анықтадық және технологиялық схеманы жасадық. Ультрадыбыстық экстракторда еріткішпен экстракциялау арқылы қара шетен жемістерінен спирт экстрактісі мен концентрат алудың технологиялық схемасы 3-суретте көрсетілген.

Жемістерден спирт экстрактісі мен концентратын алудың технологиялық процесі келесі кезеңдерден тұрды: өсімдік материалдары мен экстрагентті дайындау, ұнтақтау және електен өткізу, ультрадыбыстық экстракторда экстракциялау, сүзу, тазарту, концентрациялау, пастерлеу және орау.

Сурет 3 – Жабайы өсімдік жемістерінен экстрактілер мен концентраттарды алудың технологиялық схемасы

Ғылыми нәтижелерді талқылау

Биологиялық белсенді заттар мен басқа компоненттердің болуына байланысты өсімдік жемістері адам денсаулығын сақтау үшін қажетті қасиеттер жиынтығына ие. Антиоксиданттар автототығу процесіне қатысатын және тұрақты аралық қосылыстар түзетін, сол арқылы тізбекті тотығу реакциясын тежейтін заттар. Соңғы уақытта табиғи антиоксиданттарға және оларды тағам өнеркәсібінде қолдануға қызығушылық артты. Олардың ең көп зерттелгеніне полифенолдар, фенолды флавоноидтар, каротиноидтар, дәрумендер, протеаза ингибиторлары және т.б. жатады. Бұл қосылыстардың барлығы жемістер мен жидектерде қандай да бір түрде болады. Бірқатар эксперименттер қара шетен жемістері антиоксиданттардың ең жоғары концентрациясына ие екенін және әртүрлі химиялық модельдер бойынша антиоксиданттық қасиеттерді зерттегенде антиоксиданттық белсенділіктің жоғары деңгейін көрсететінін растайды [21-24].

Осы зерттеуде алынған нәтижелер Алматы облысының тау бөктерінде өсетін қара шетен жемістеріндегі полифенол, флавоноидтар және β-каротиннің құрамы туралы құнды мәліметтер береді және биологиялық белсенді заттарды алу үшін перспективалы шикізат болып табылады.

Қазіргі заманғы экстракция технологияларына ультрадыбыстық экстракция кіреді. Ультрадыбыстық экстракция – энергияны, уақытты және материалдарды аз тұтынатын жылдам және тиімді экстракция әдісі, осылайша жоғары өнімділігі бар таза өнімдерді шығарады [18, 25]. Сонымен, жұмыста [26] ультрадыбыстық экстракция микротолқынды экстракциямен салыстырғанда антиоксиданттық белсенділігі жоғары және уақытты 33% үнемдейтін жалпы фенолды заттарды (54,4 мг ГАЕ/г) алудың тиімді әдісі болып табылды.

Зерттеу барысында біз талданған қара шетен жемістерінің үлгілерінен экстрактілер мен концентраттар алдық. Экстрактілерді алу ультрадыбыстық экстракция әдісімен жүргізілді. Экстракциялық заттардың ең терең экстракциясы 30% этанолмен алынды, экстракция ұзақтығы 45 минут.

Қорытынды

Қара шетен жемістеріндегі адам денсаулығын сақтауға қажетті биологиялық белсенді заттардың (полифенолдар, флавоноидтар, β-каротин) құрамын талдау негізінде Еңбекшіқазақ ауданы, Қайназар ауылы тау етегінен жиналған қара шетен жемістеріндегі полифенолдардың мөлшері – 3,77%, Талғар ауданында, Ақбұлақ ауылының тау етегінде – 4,07%, Талғар ауданы, Қарабұлақ ауылының тау бөктерінен жиналған жемістерде – 4,4%. Флавоноидтардың мөлшері

сәйкесінше 2,24; 2,65; 2,71%, β-каротин – 0,185; 0,203 және 0,229 мг/100 г. Қарабұлақ ауылында жиналған жемістердегі полифенолдардың, флавоноидтардың және β-каротиннің мөлшері Қайназар ауылы мен Ақбұлақ ауылының тау бөктерінде өсетін қара шетен жемістерінің ұқсас көрсеткіштерінен асып түсті.

Қара шетен жемістерінен экстрактілер мен концентраттар алудың технологиялық схемасы жасалды. Үлгіні алудың келесі режимдері ұсынылды: ультрадыбыстық толқын жиілігі 35 кГц, экстракция уақыты 45 минут, температура 50^0C және алынған экстрактілердің концентрациясы 40-50^0C және 800 мбар қысымда IKA RV-10 құрылғысының көмегімен вакуумды булану арқылы жүзеге асырылды.

Әдебиеттер тізімі

1. Рензяева Т.В. Мучные кондитерские изделия функциональной направленности на основе многокомпонентных смесей / Т.В. Рензяева, А.С. Тубольцева, А.О. Рензяев // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – № 4, Том 47. – С. 77-83.
2. Edwards N. Food Additives Market Sees Growth with Increasing Global Consumption. – 2022. https://ihsmarkit.com/research-analysis/food-additives-market-sees-growth-with-increasing-global-consu.html.
3. Profile of the Functional Categories of Food Additives in Industrial Foods Marketed in Senegal / A. Kane et al // Food and NutritionSciences. – 2023. – № 14. – P. 1244-1258. https://doi.org/10.4236/fns.2023.
4. Дубцова Г.Н. Оценка биологически активных веществ сухого экстракта шиповника / Г.Н. Дубцова, И.У. Кусова, И.К. Куницына // Пищевая промышленность. – 2018. – № 5. – С. 32-34.
5. Функциональные ингредиенты плодов дикорастущих растений / А.С. Овчаренко и др. // Пищевая промышленность. – 2017. – № 12. – С. 53-57.
6. A Qualitative Composition, Phenolic Profile and Antioxidant Potential / Andrzej Sidor et al // Molecules. – 2019. – № 20(24). https://doi.org/10.3390/molecules24203710.
7. Jurendić T. Aronia melanocarpa products and by-products for health and nutrition: A review / T. Jurendić, M. Ščetar // Antioxidants. – 2021. – № 10. – P. 1052. https://doi.org/10.3390/antiox10071052.
8. Oszmiański J. Effect of the Production of Dried Fruits and Juice from Chokeberry (Aronia melanocarpa L.) on the Content and Antioxidative Activity of Bioactive Compounds / J. Oszmiański, S. Lachowicz // Molecules. – 2016. – № 21(8). – P. 1098. https://doi.org/10.3390/molecules21081098.PMID: 27556441
9. Gralec M. Aronia melanocarpa berries: Phenolics composition and antioxidant properties changes during fruit development and ripening / M. Gralec, I. Wawer, K. Zawada // Emirates Journal of Food and Agriculture. – 2019. – № 31(3). – P. 214-221. https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i3.1921.
10. Denev P. Black chokeberry (Aronia melanocarpa) polyphenols reveal different antioxidant, antimicrobial and neutrophil-modulating activities / P. Denev, M. Číž, M. Kratchanova, D. Blazheva // Food Chem. – 2019. – P.108-117. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.108.
11. Borowska S. Chokeberries (Aronia melanocarpa) and Their Products as a Possible Means for the Prevention and Treatment of Noncommunicable Diseases and Unfavorable Health Effects Due to Exposure to Xenobiotics / S. Borowska, M.M. Brzóska // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. – 2016. – № 15. – P.982-1017.
12. Petrov A.N. Physical and chemical aspects of vacuum drying of berry rawmaterials / A.N. Petrov, G.A. Maslennikova // Foods and Raw Materials. – 2016. – V. 4, № 1. – P. 129-134.
13. Gaultheria shallon and aronia (Aronia melanocarpa) fruits from Orkney: Phenolic content, composition and effect of wine-making / G.J. McDougall et al // Food Chemistry. – 2016. – V. 205. – P. 239-247.
14. Comparison of in vitro anti-lipase and antioxidant activities, and composition of commercial chokeberry juices / D. Sosnowska et al // Eur.Food Res. Technol. – 2016 – № 242. – P. 505-515.
15. Еремеева Н.Б. Влияние технологии экстракции на антиоксидантную активностьэкстрактов плодов черноплодной рябины / Н.Б. Еремеева, Н.В. Макарова // Вестник МГТУ. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 600-608. https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-3-600-608.
16. Sidor A. Black chokeberry (Aronia melanocarpa) and its products as potential health-promoting factors–an overview / A. Sidor, A. Drożdżyńska, A. Gramza-Michalowska // Trends Food Sci. Technol. – 2019. – № 89. – P. 45-60. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.006.

17. Чучалин В.С. Технология получения экстракционных фитопрепаратов: учебное пособие / В.С. Чучалин. – Томск: Изд-во СибГМУ, 2019. – 198 с.
18. Elapov A.A. The Use of Ultrasound in the Extraction of Biologically Active Compounds from Plant Raw Materials, Used or promising for Use in Medicine (Review) / A.A. Elapov, N.N. Kuznetsov, A.I. Marakhova // Drug development & registration. – 2021. – № 10(4). – P. 96-116. https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-4-96-116.
19. Журавлева Ю.А. Исследование химического состава плодов черноплодной рябины, произрастающей в Приволжском регионе / Ю.А. Журавлева, М.Н. Земцова // Пищевая промышленность. – 2013. – № 8. https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-himicheskogo-sostava -plodov-chernoplodnoy-ryabiny-proizrastayuschey-v-privolzhskom-regione.
20. Синютина С.Е. Экстракция флаваноидов из растительного сырья и изучение их антиоксидантных свойств / С.Е. Синютина, С.В. Романцева, В.Ю. Савельева // Вестник ТГУ. – 2011. – Т. 16, Вып. 1. – С. 345-347.
21. Воронина М.С. Влияние термической обработки на полифенолы свежих ягод и продукты их переработки / М.С. Воронина, Н.В. Макарова // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. – 2015. – № 11. – С.49-54. https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-termicheskoy-obrabotki-na-polifenoly-svezhih-yagod-i-produkty-ih-pererabotki.
22. Природные антиоксиданты (биотехнологические, биологические и медицинские аспекты): монография / Г.В. Донченко и др. – Харьков: ОАО «Модель Вселенной», 2011. – 376 с.
23. Воронина М.С. Изучение химического состава и антиоксидантной активности свежих плодов и продуктов переработки черноплодной рябины / М.С. Воронина, Н.В. Макарова // Садоводство и виноградарство. – 2015. – № 2. – С. 42-46.
24. Макарова Н.В. Современные аспекты научных исследований антиоксидантных свойств цитрусовых фруктов, ягод и косточковых плодов: монография / Н.В. Макарова. – Самара: Самар, гос. техн. ун-т, 2013. – 127 с.
25. Ultrasonic Technology and Its Applications in Quality Control, Processing and Preservation of Food: A Review / B. Madhu et al // Current Journal of Applied Science and Technology. – 2019. – № 32(5). – P. 1-11. https://doi.org/10.9734/CJAST/2019/46909.
26. Rodsamran P. Extraction of phenolic compounds from lime peel waste using ultrasonic-assisted and microwave-as-sisted extractions / P. Rodsamran, R. Sothornvit // Food Bioscience. – 2019. – № 28. – P. 66-73. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.01.017.

References

1. Renzyaeva T.V. Muchnye konditerskie izdeliya funktsional'noi napravlennosti na osnove mnogokomponentnykh smesei / T.V. Renzyaeva, A.S. Tubol'tseva, A.O. Renzyaev // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. – 2017. – № 4, Tom 47. – S. 77-83. (In Russian).
2. Edwards N. Food Additives Market Sees Growth with Increasing Global Consumption. – 2022. https://ihsmarkit.com/research-analysis/food-additives-market-sees-growth-with-increasing-global-consu.html. (In English).
3. Profile of the Functional Categories of Food Additives in Industrial Foods Marketed in Senegal / A. Kane et al // Food and Nutrition Sciences. – 2023. – № 14. – R. 1244-1258. https://doi.org/10.4236/fns.2023. (In English).
4. Dubtsova G.N. Otsenka biologicheski aktivnykh veshchestv sukhogo ehkstrakta shipovnika / G.N. Dubtsova, I.U. Kusova, I.K. Kunitsyna // Pishchevaya promyshlennost'. – 2018. – № 5. – S. 32-34. (In Russian).
5. Funktsional'nye ingredienty plodov dikorastushchikh rastenii / A.S. Ovcharenko i dr. // Pishchevaya promyshlennost'. – 2017. – № 12. – S. 53-57. (In Russian).
6. A Qualitative Composition, Phenolic Profile and Antioxidant Potential / Andrzej Sidor et al // Molecules. – 2019. – № 20(24). https://doi.org/10.3390/molecules24203710. (In English).
7. Jurendić T. Aronia melanocarpa products and by-products for health and nutrition: A review / T. Jurendić, M. Ščetar // Antioxidants. – 2021. – № 10. – R. 1052. https://doi.org/10.3390/antiox10071052. (In English).
8. Oszmiański J. Effect of the Production of Dried Fruits and Juice from Chokeberry (Aronia melanocarpa L.) on the Content and Antioxidative Activity of Bioactive Compounds / J. Oszmiański, S. Lachowicz // Molecules. – 2016. – № 21(8). – R. 1098. https://doi.org/10.3390/molecules21081098.PMID: 27556441. (In English).

9. Gralec M. Aronia melanocarpa berries: Phenolics composition and antioxidant properties changes during fruit development and ripening / M. Gralec, I. Wawer, K. Zawada // Emirates Journal of Food and Agriculture. – 2019. – № 31(3). – R. 214-221. https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i3.1921. (In English).
10. Denev P. Black chokeberry (Aronia melanocarpa) polyphenols reveal different antioxidant, antimicrobial and neutrophil-modulating activities / P. Denev, M. Číž, M. Kratchanova, D. Blazheva // Food Chem. – 2019. – R.108-117. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.108. (In English).
11. Borowska S. Chokeberries (Aronia melanocarpa) and Their Products as a Possible Means for the Prevention and Treatment of Noncommunicable Diseases and Unfavorable Health Effects Due to Exposure to Xenobiotics / S. Borowska, M.M. Brzóska // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. – 2016. – № 15. – R.982–1017. (In English).
12. Petrov A.N. Physical and chemical aspects of vacuum drying of berry rawmaterials / A.N. Petrov, G.A. Maslennikova // Foods and Raw Materials. – 2016. – V. 4, № 1. – P. 129-134. (In English).
13. Gaultheria shallon and aronia (Aronia melanocarpa) fruits from Orkney: Phenolic content, composition and effect of wine-making / G.J. McDougall et al // Food Chemistry. – 2016. – V. 205. – P. 239-247. (In English).
14. Comparison of in vitro anti-lipase and antioxidant activities, and composition of commercial chokeberry juices / D. Sosnowska et al // Eur.Food Res. Technol. – 2016 – № 242. – R. 505-515. (In English).
15. Eremeeva N.B. Vliyanie tekhnologii ehkstraktsii na antioksidantnuyu aktivnost'ehkstraktov plodov chernoplodnoi ryabiny / N.B. Eremeeva, N.V. Makarova // VestniKMGTU. – 2017. – T. 20, № 3. – S. 600-608. https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-3-600-608. (In Russian).
16. Sidor A. Black chokeberry (Aronia melanocarpa) and its products as potential health-promoting factors–an overview / A. Sidor, A. Drożdżyńska, A. Gramza-Michalowska // Trends Food Sci. Technol. – 2019. – № 89. – R. 45-60. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.006. (In English).
17. Chuchalin V.S. Tekhnologiya polucheniya ehkstraktsionnykh fitopreparatov: uchebnoe posobie / V.S. Chuchalin. – Tomsk: Izd-vo SiBGMU, 2019. – 198 s. (In Russian).
18. Elapov A.A. The Use of Ultrasound in the Extraction of Biologically Active Compounds from Plant Raw Materials, Used or promising for Use in Medicine (Review) / A.A. Elapov, N.N. Kuznetsov, A.I. Marakhova // Drug development & registration. – 2021. – № 10(4). – R. 96-116. https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-4-96-116. (In English).
19. Zhuravleva YU.A. Issledovanie khimicheskogo sostava plodov chernoplodnoi ryabiny, proizrastayushchei v Privolzhskom regione / YU.A. Zhuravleva, M.N. Zemtsova // Pishchevaya promyshlennost'. – 2013. – № 8. https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-himicheskogo-sostava -plodov-chernoplodnoy-ryabiny-proizrastayuschey-v-privolzhskom-regione. (In Russian).
20. Sinyutina S.E. Ehkstraktsiya flavanoidov iz rastitel'nogo syr'ya i izuchenie ikh antioksidantnykh svoistv / S.E. Sinyutina, S.V. Romantseva, V.YU. Savel'eva // Vestnik TGU. – 2011. – T. 16, Vyp. 1. – S. 345-347. (In Russian).
21. Voronina M.S. Vliyanie termicheskoi obrabotki na polifenoly svezhikh yagod i produkty ikh pererabotki / M.S. Voronina, N.V. Makarova // Sel'skokhozyaistvennye nauki i agropromyshlennyi kompleks na rubezhe vekov. – 2015. – № 11. – S.49-54. https://cyberleninka. ru/article/n/vliyanie-termicheskoy-obrabotki-na-polifenoly-svezhih-yagod-i-produkty-ih-pererabotki. (In Russian).
22. Prirodnye antioksidanty (biotekhnologicheskie, biologicheskie i meditsinskie aspekty): monografiya / G.V. Donchenko i dr. – Khar'kov: OAO «Model' Vselennoi», 2011. – 376 s. (In Russian).
23. Voronina M.S. Izuchenie khimicheskogo sostava i antioksidantnoi aktivnosti svezhikh plodov i produktov pererabotki chernoplodnoi ryabiny / M.S. Voronina, N.V. Makarova // Sadovodstvo i vinogradarstvo. – 2015. – № 2. – S. 42-46. (In Russian).
24. Makarova N.V. Sovremennye aspekty nauchnykh issledovanii antioksidantnykh svoistv tsitrusovykh fruktov, yagod i kostochkovykh plodov: monografiya / N.V. Makarova. – Samara: Samar, gos. tekhn. un-t, 2013. – 127 s. (In Russian).
25. Ultrasonic Technology and Its Applications in Quality Control, Processing and Preservation of Food: A Review / V. Madhu et al // Current Journal of Applied Science and Technology. – 2019. – № 32(5). – R. 1-11. https://doi.org/10.9734/CJAST/2019/46909. (In English).
26. Rodsamran P. Extraction of phenolic compounds from lime peel waste using ultrasonic-assisted and microwave-as-sisted extractions / P. Rodsamran, R. Sothornvit // Food Bioscience. – 2019. – № 28. – R. 66-73. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.01.017. (In English).

Г.К. Искакова, А.С. Абдреева*, М.П. Байысбаева, А.К. Изембаева, Д.А. Шаншарова
Алматинский технологический университет,
050012, Казахстан, г. Алматы, ул. Толе би, 100
*e-mail:abdreeva.95@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ ЧЕРНОПЛОДНОЙ РЯБИНЫ И ПОЛУЧЕНИЕ ИЗ НИХ ЭКСТРАКТОВ И КОНЦЕНТРАТОВ

В статье приведены результаты исследования содержания полифенолов, флавоноидов, β-каротина в плодах черноплодной рябины, необходимых для поддержания здоровья человека и установлено, что содержание полифенолов в плодах рябины собранные в предгорьях села Кайназар Енбекшиказахского района составляет 3,77%, в плодах собранные в предгорьях села Акбулак Талгарского района – 4,07%, в плодах собранные в предгорьях села Карабулак Талгарского района – 4,4 %. Содержание флавоноидов составляет, соответственно 2,24; 2,65; 2,71 %, β-каротина – 0,185; 0,203 и 0,229 мг/100 г. Содержание полифенолов, флавоноидов и β-каротина в плодах, собранных в предгорьях села Карабулак, превосходят аналогичные показатели плодов черноплодной рябины, произрастающих в предгорьях села Кайназар и села Акбулак. Разработана технологическая схема получения экстрактов и концентратов из плодов черноплодной рябины. Технологический процесс получения спиртового экстракта и концентрата из плодов состоял из следующих стадий: подготовка растительного сырья и экстрагента, измельчение и просеивание, экстракция в ультразвуковом экстракторе, фильтрация, очистка, концентрирование, пастеризация и упаковка. Предложены режимы экстрагирования образцов: частота ультразвуковых волн 35 кГц, время экстракции 45 минут, температура 50 ^{0}С, а концентрирование полученных экстрактов осуществлялось методом вакуумного упаривания, используя аппарат марки IKA RV-10 при режиме 40-50 ^{0}С и давлении 800 мбар.

Ключевые слова: *черноплодная рябина, качество, экстрагент, выход экстрактивных веществ, ультразвуковая экстракция, экстракты, концентраты, технологическая схема.*

G.K. Iskakova, A.S. Abdreeva*, M.P. Bayisbaeva, A.K. Izembaeva, D.A. Shansharova
Almaty technological university,
050012, Kazakhstan, Almaty, str. Tole bi, 100
*e-mail: abdreeva.95@mail.ru

STUDY OF THE QUALITY OF BLACK ROWAN FRUITS AND OBTAINING EXTRACTS AND CONCENTRATES FROM THEM

The article presents the results of the study of the polyphenols, flavonoids, β-carotene content in the black rowan fruits required to maintain human health, and it is determined that the content of polyphenols in the fruits of the rowan picked in the foothills of Kainazar village of Yenbekshikazakh district is 3.77%, in the fruits picked in the foothills of Akbulak village of Talgar district is 4.07%, in the fruits picked in the foothills of Karabulak village of Talgar district is 4.4%. The content of flavonoids is respectively 2.24; 2.65; 2.71 %mg, β-carotene is 0.185; 0.203 and 0.229 mg. The content of polyphenols, flavonoids and β-carotene in fruits picked in the foothills of Karabulak village exceeds the similar indicators of black rowan fruits growing in the foothills of Kaynazar village and Akbulak village. The technological process of obtaining extracts and concentrates from the fruits of the black rowan fruits was developed. The technological process of obtaining alcoholic extract and concentrate from fruits included the following steps: preparing plant raw materials and extractant, grinding and sieving, extracting in an ultrasonic extractor, filtering, purifying, concentrating, pasteurizing and packaging. The following extraction modes of samples were proposed: ultrasonic wave frequency of 35kHz, extraction time of 45 minutes, temperature of 50 °C, and concentration of obtained extracts was performed by vacuum evaporation method using IKA RV-10 apparatus at 40-50 °C and pressure of 800 mbar.

Key words: *black rowan, quality, extractant, extractive yield, ultrasonic extraction, extracts, concentrates, technological process.*

Авторлар туралы ақпарат

Галия Куандыккызы Искакова – техника ғылымдарының докторы, «Астық өнімдері және өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры; Алматы технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы; e-mail: iskakova-61@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2077-8755.

Асемкул Садуақасқызы Абдреева* – «Тағамдық биотехнологиясының» докторанты; Алматы технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы; e-mail: abdreeva.95@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3567-8028.

Меруерт Пернебаевна Байысбаева – «Астық өнімдері және өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының техника ғылымдарының кандидаты, профессордың м.а, Алматы технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1172-9281.

Асель Камалсейтовна Изембаева – «Астық өнімдері және өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Алматы технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1246-2726.

Динара Айтпаевна Шаншарова – техника ғылымдарының докторы, «Астық өнімдері және өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, доцент ; Алматы технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7346-2658.

Сведения об авторах

Галия Куандыковна Искакова – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология хлебопродуктов и перерабатывающих производств»; Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: iskakova-61@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2077-8755.

Асемкул Садуакасовна Абдреева* – докторант кафедры «Пищевая биотехнология»; Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: abdreeva.95@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3567-8028.

Меруерт Пернебаевна Байысбаева – к.т.н., и.о. профессор кафедры «Технология хлебопродуктов и перерабатывающих производств»; Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1172-9281.

Асель Камалсейтовна Изембаева – ассоциированный профессор, лектор кафедры «Технология хлебопродуктов и перерабатывающих производств»; Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1246-2726.

Динара Айтпаевна Шаншарова – доктор технических наук, доцент (ассоциированный профессор),кафедры «Технология хлебопродуктов и перерабатывающих производств»; Алматинский технологический университет, г. Алматы, Республика Казахстан; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7346-2658.

Information about the authors

Galiya Kuandykovna Iskakova – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Technology of bread products and processing industries»; Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: iskakova-61@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2077-8755.

Asemkul Saduakasovna Abdreeva* – Doctoral student of the Department of «Food Biotechnology»; Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: abdreeva.95@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3567-8028.

Meruert Pernebaevna Bayisbaeva – candidate of Engineering sciences, acting professorof the Department «Technology of bread products and processing industries»; Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1172-9281.

Assel Kamalseitovna Izembayeva – associate professor, lecturer of the Department «Technology of bread products and processing industries»; Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1246-2726.

Dinara Aitpaevna Shansharova – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Technology of bread products and processing industries»; Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: dinara.shansharova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7346-2658.

Редакцияға енуі 16.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 06.08.2025
Жариялауға қабылданды 07.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-33

ҒТАХР: 65.63.39

BY 4.0
Check for updates

Б.Қ. Оспанова[1*], Т.Ч. Тултабаева[1], А.Е. Турсынханова[2], Р.У. Ашакаева[2] , Ұ.Е. Асанова[2]
[1]С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті,
010000, Қазақстан, Астана қ., Жеңіс даңғылы 62
[2]Alikhan Bokeikhan University,
071411, Қазақстан, Семей қ., Мәңгілік ел 11
[*]e-mail: ospanova93-93@mail.ru

ҰЛТТЫҚ СҮТ ӨНІМІНІҢ ҚҰРАМЫН ӨСІМДІК ТЕКТІ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ ҚОСПАЛАРМЕН БАЙЫТУ, ШЫРҒАНАҚ ПЕН ИТМҰРЫННЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТИІМДІЛІГІ

Аңдатпа: *Мақалада дәстүрлі сүтті-ақуызды ұлттық өнім – сары ірімшікті функционалдық қасиеттері жоғары тағам ретінде жетілдіру жолдары қарастырылады. Зерттеу жұмысының өзектілігі – халықтық тағамдарға табиғи өсімдік текті ингредиенттерді қосу арқылы олардың тағамдық және биологиялық құндылығын арттыру мүмкіндігін негіздеу. Мақсат – шырғанақ (Hippophae rhamnoides) пен итмұрын (Rosa canina) экстрактілерін сары ірімшік өндірісіне енгізе отырып, өнімнің органолептикалық, физика-химиялық, дәрумендік және аминқышқылдық құрамын жақсарту. Эксперимент барысында экстрактілер табиғи түрде дайындалып, сүтке қосылып ферментативті ұйыту, қайнату, сығымдау және кептіру сатыларынан өтті. Алынған үлгілер тағамдық құндылығы, антиоксиданттық белсенділігі және тұтынушылық көрсеткіштері бойынша кешенді түрде бағаланды. Нәтижесінде, шырғанақпен байытылған сары ірімшік үлгісінің құрамында ақуыз, май және С дәруменінің мөлшері анағұрлым жоғары болып, аминқышқылдық спектрі кең әрі тұрақты екені анықталды. Итмұрын қосылған өнімде В дәрумендер тобының мөлшері басым, ал антиоксиданттық белсенділігі жоғары көрсеткіш көрсетті. Екі үлгі де органолептикалық тұрғыдан жоғары бағаға ие болды – тығыз құрылымы, жағымды дәмі мен иісі тұтынушылар тарапынан оң бағаланды. Жүргізілген зерттеу нәтижелері өсімдік текті ингредиенттермен байытылған сары ірімшіктің тағамдық және биологиялық тиімділігі артқанын, әрі бұл тәсіл ұлттық тағамдарды жаңғыртудың және денсаулыққа пайдалы функционалдық өнімдер жасаудың тиімді жолы екенін көрсетті.*

Түйін сөздер: *сары ірімшік, функционалдық тағам, шырғанақ, итмұрын, экстрактілер, дәрумендер, аминқышқылдар, тағам сапасы.*

Кіріспе.

Тамақтану ғылымы мен тағам өндірісінің дамуымен бірге функционалдық тағамдарға деген сұраныс артып келеді. Функционалдық өнімдер құрамында адам ағзасына оң әсер ететін биологиялық белсенді заттар болуы тиіс. Осы тұрғыдан алғанда, дәстүрлі ұлттық тағамдарды қазіргі заман талабына сай жетілдіру – ғылым мен өндірістің өзекті міндеттерінің бірі. Соның ішінде сары ірімшікті өсімдік текті компоненттермен байыту арқылы оның тағамдық және биологиялық құндылығын арттыру үлкен қызығушылық тудыруда.

Өсімдік текті қоспалар – табиғи антиоксиданттар, дәрумендер, органикалық қышқылдар мен диеталық талшықтарға бай. Олар адамның жалпы иммундық жүйесін нығайтып, зат алмасу процестерін белсендіреді. Осындай компоненттердің ішінде шырғанақ (Hippophae rhamnoides) және итмұрын (Rosa canina) экстрактілерінің тағам өндірісінде қолдану мүмкіндіктері ерекше назар аударады.

Шырғанақ экстрактісі құрамында аскорбин қышқылы (С дәрумені), токоферол (Е дәрумені), флавоноидтар, омега-3 және омега-6 май қышқылдары мол. Ол антиоксиданттық, қабынуға қарсы және иммунитетті ынталандырушы қасиеттерге ие. Сары ірімшікке шырғанақ экстрактын қосу өнімнің тек дәмдік қасиетін жақсартып қана қоймай, оның биологиялық құндылығын арттырады. Сонымен қатар, бұл қосымша ірімшіктің сақтау мерзімін ұзартуға да әсер етеді, себебі шырғанақ құрамындағы биофлавоноидтар микробтық белсенділікті тежейді.

Итмұрын экстрактісі – С дәруменінің табиғи көзі. Сонымен қатар, ол каротиноидтар, органикалық қышқылдар, пектин және фенолды қосылыстарға бай. Итмұрын экстрактін сүтті өнімдерге, оның ішінде сары ірімшікке енгізу арқылы өнімнің антиоксиданттық қасиетін арттыруға, сонымен қатар тұтынушы денсаулығына пайдалы қосымша әсерлерге қол жеткізуге болады. Итмұрынның биологиялық белсенді заттары асқорыту және жүрек-қантамыр жүйелерінің жұмысын қолдайды.

Сары ірімшіктің құрамын өсімдік текті биологиялық белсенді заттармен байыту – ұлттық тағамдарды жаңғыртудың тиімді жолдарының бірі. Бұл бағыт тағам өндірісінде жаңа функционалдық өнімдерді жасауға, халық денсаулығын жақсартуға және экологиялық таза ресурстарды тиімді пайдалануға ықпал етеді. Зерттеу нәтижелері сары ірімшіктің тағамдық мүмкіндіктерін кеңейту арқылы оны нарықтағы сұранысқа ие, бәсекеге қабілетті өнімге айналдыруға болатынын дәлелдейді.

Зерттеу нысаны: шырғанақ және итмұрын экстарктілері. Эксперименттік зерттеулер Астана қаласының «С.Сейфуллин атындағы казақ агротехникалық университеті» КеАҚ, Российский университет дружбы народов (РУДН), Аграрлы-технологиялық институтында жүргізілді.

Жұмыстың мақсаты: Итмұрын экстрактісімен байытылған және шырғанақ экстрактісімен байытылған ұлттық ақуызды сүт өнімдерінің органолептикалық, физико-химиялық, аминқышқылдық және дәрумендік көрсеткіштерін салыстыра отырып, өсімдік текті компоненттер негізінде дайындалған функционалдық өнімдердің ішінен сапалық және тағамдық жағынан тиімді нұсқасын ғылыми тұрғыда анықтау.

Экстракт қосылған сары ірімшікті өндіру технологиясы дәстүрлі әдістен айырмашылығы бар және қарқындатылған өңдеу сатыларын қамтиды. Функционалдық қасиетке ие өнім алу мақсатында алдымен сүт шикізаты таңдалып, оған сапалық-физика-химиялық талдаулар жүргізілді. Тазартылған сүт 35-36°С-қа дейін жылытылып, оған алдын ала дайындалған шырғанақ немесе итмұрын экстрактісі қосылып, біркелкі араластырылды. Содан кейін табиғи фермент енгізіліп, ұйыту үдерісі басталды. Ұйығаннан кейін масса қыздырылып, қайнату сатысында сарысу бөлініп шықты. Қайнау барысында өнімнің түсі біртіндеп сарғыштанып, 2,5 сағат ішінде қою сары түске енді. Қайнату соңында сарысу толық тартылып, өнім дайын күйге жетті. Қайнаудан кейін ірімшік кептіруге жіберілді. Бұл процесс микротолқынды және вакуумдық кептіру әдістерімен жүргізілді. Микротолқынды кептіру кезінде 2 сағатта өнімнің ылғалдылығы 10%-ға дейін төмендесе, вакуумдық кептіруде бар болғаны 10 минут ішінде ылғалдылық 25%-ға азайды. Бұл нәтиже бойынша вакуумдық кептіру тиімді әдіс ретінде танылды. Соңғы кезеңде өнім вакуумдық қаптамаға салынып, сақтау мерзімін ұзартуға мүмкіндік беретін дайын функционалдық тағам ретінде ұсынылды (1сур.).

Сурет 1 – Вакуумдық қаптамамен қапталған дайын өнім:
1) Бақылау өнімі; 2) Шырғанақ экстрактісімен байытылған ұлттық ақуызды сүт өнімі;
3) Итмұрын экстрактісімен байытылған ұлттық ақуызды сүт өнімі.

Дайын өнімдердің яғни шырғанақ экстрактісімен және итмұрын экстрактісімен байытылған өнімдердің органолептикалық көрсеткіштері 1 кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Өнімнің органолептикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Бақылау өнімі	Шырғанақ экстрактісі қосылған өнім	Итмұрын экстрактісі қосылған өнім
Сыртқы түрі мен консистенциясы	Түйіршікті, консиситенциясы біртекті	Түйіршікті, консиситенциясы біртекті, тығыз	Түйіршікті, консиситенциясы біртекті, тығыз
Дәм мен иісі	Сүтқышқылды өнімге тән қышқылдау, иісі кондитерлік өнімдерінің иісіне тән	Сүтқышқылды өнімге тән қышқылдау, тәтті дәмді, иісі кондитерлік өнімдерінің иісіне тән	Сүтқышқылды өнімге тән қышқылдау, тәтті дәмді, иісі кондитерлік өнімдерінің иісіне тән.
Түсі	Тоқ сары, сарғыш	Тоқ сары, сарғыш	Тоқ сары, сарғыш, қоңырлау

Функционалдық өсімдік компоненттерімен байытылған үлгілер органолептикалық қасиеттері бойынша бақылау өнімінен айқын ерекшеленеді. Бұл айырмашылықтар тек сыртқы көрініс немесе дәмдік ерекшеліктермен ғана шектелмей, тұтынушылық тартымдылықты арттыруға, өнімнің нарықтағы сұранысын көтеруге де ықпал ете алады. Сонымен, итмұрын және шырғанақ экстрактілері дайын өнімге жағымды дәм мен иіс, табиғи реңк пен тығыз құрылым беріп, функционалдық тағам ретінде тұтынуға лайықты екенін дәлелдейді. Органолептикалық бағалау нәтижелерін толықтыру мақсатында өнімдердің физика-химиялық көрсеткіштері де зерттелді. Бұл талдаулар Мәскеу қаласындағы Аграрлы-технологиялық институтының зертханасында жүргізіліп, 2-кестеде ұсынылған.

Кесте 2 – Өнімнің физико-химиялық көрсеткіштері

№	Көрсеткіштер атауы, өлшем бірлігі	Зерттелетін өнім		
		Бақылау өнімі	Шырғанақ экстрактісі қосылған өнім	Итмұрын экстрактісі қосылған өнім
1	-ылғалдылықтың массалық үлесі, %	15± 3,1	15±0,275	14±0,375
2	-майлылықтың массалық үлесі	22.112± 2,3	28.2±7,42	25.2±7,32
3	-ақуыздың массалық үлесі	18.1812± 3,1	27.53±3,572	21.45±3,572

Физико-химиялық тұрғыда шырғанақ экстрактісімен байытылған өнім ең тиімді үлгі ретінде ерекшеленеді. Ол ақуыз және май мөлшері бойынша ең жоғары көрсеткішке ие, бұл өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығын арттыра түседі. Ал итмұрын қосылған өнім ылғалдылығы төмен, тығыз құрылымды болып келеді. Бақылау өнімімен салыстырғанда екі байытылған өнім де едәуір жақсартылған қасиеттерге ие.

Аталған өнімдердің тағамдық құндылығын жан-жақты бағалау мақсатында олардың дәрумендік құрамы да зерттелді. Бұл көрсеткіштер Алматы технологиялық университетінің азық-түлік өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін бағалау жөніндегі ғылыми-зерттеу зертханасында анықталып, 3-кестеде ұсынылған.

Кесте 3 – Өнімнің дәрумендік көрсеткіштері,мг/кг

№	Көрсеткіштер, өлшем бірлігі	Зерттелетін өнім		
	Дәрумендер мөлшері, мг/кг	Бақылау өнімі	Шырғанақ экстрактісі қосылған өнім	Итмұрын экстрактісі қосылған өнім
1	B1, мг/100г	0,101 ± 0,020	0,123 ± 0,025	0,128 ± 0,026
2	B2, мг/100г	0,283 ± 0,119	0,295 ± 0,124	0,290 ± 0,122
3	B6, мг/100г	0,052 ± 0,010	0,063 ± 0,012	0,065 ± 0,013
4	B3, мг/100г	2,18 ± 0,436	2,59 ± 0,518	2,62 ± 0,524
5	B5, мг/100г	0,028 ± 0,005	0,033 ± 0,006	0,030 ± 0,006
6	C, мг/100г	0,417 ± 0,142	0,501 ± 0,170	0,493 ± 0,168

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, өсімдік текті функционалдық қоспалар өнімнің дәрумендік құрамын едәуір жақсартады. Итмұрын экстрактісімен байытылған өнім B_1 (тиамин), B_2 (рибофлавин), B_5 (пантотен қышқылы) дәрумендері бойынша ең жоғары көрсеткіштерге ие болды. Бұл дәрумендер энергия алмасуына, жүйке жүйесінің тұрақты жұмысына және жасушалық процестерге тікелей әсер етеді. Сонымен қатар, шырғанақ экстрактісімен байытылған өнім С дәрумені (аскорбин қышқылы) бойынша ең жоғары нәтижені көрсетті – 0,501 ± 0,170 мг/100 г. Бұл көрсеткіш оның антиоксиданттық әсерін күшейтіп, иммундық жүйені нығайтатынын көрсетеді. B_6 және B_9 дәрумендері (тиісінше пиридоксин және фолий қышқылы) барлық үлгілерде шамалас, бірақ функционалдық өнімдерде бақылауға қарағанда жоғары. Салыстырмалы түрде алғанда итмұрын экстрактісімен байытылған өнім – дәрумендердің саны мен мөлшері бойынша кең ауқымды қамтиды, шырғанақ қосылған өнім – С дәруменінің мөлшері мен жалпы антиоксиданттық қасиеттері бойынша алда.

Өнімдердің дәрумендік құрамына жүргізілген талдауды толықтыру мақсатында, дайын өнімдердің аминқышқылдық құрамы да зерттелді. Бұл көрсеткіштер Алматы технологиялық университетінің азық-түлік өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін бағалау жөніндегі ғылыми-зерттеу зертханасында анықталып, 4-кестеде ұсынылған.

Кесте 4 – Өнімнің аминқышқылдық көрсеткіштері, %

№	Көрсеткіштер, өлшем бірлігі	Зерттелетін өнім		
	Аминқышқылдарының массалық үлесі, %	Бақылау өнімі	Шырғанақ экстрактісі қосылған өнім	Итмұрын экстрактісі қосылған өнім
1	Аргинин	2.807±1.123	3.586±1.434	1.206±0.482
2	Лизин	4.954±1.168	4.854±1.168	2.529±0.860
3	Тирозин	3.633±1.090	1.096±0.329	1.868±0.560
4	Фенилаланин	3.303±0.859	4.303±0.859	1.790±0.537
5	Гистидин	1.717±0.859	1.817±0.859	0.895±0.447
6	Лейцин+изолейцин	4.954±1.585	4.965±1.586	2.724±0.708
7	Метионин	2.147±1.585	2.156±1.236	1.148±0.390
8	Валин	3.963±1.585	4.963±1.645	2.140±0.856
9	Пролин	8.256±2.147	9.586±2.169	4.280±1.113
10	Треонин	2.708±1.083	2.906±1.567	1.634±0.654
11	Серин	3.303±0.859	4.203±0.859	1.790±0.465
12	Аланин	2.147±0.558	2.147±0.558	1.206±0.314
13	Глицин	1.255±0.427	1.255±0.427	0.759±0.258

Аминқышқылдық көрсеткіштер негізінде шырғанақ экстрактісімен байытылған өнім аминқышқылдардың кең спектрі мен жоғары концентрациясы арқылы ең тиімді үлгі ретінде ерекшеленеді. Ал итмұрын қосылған өнім өз кезегінде құрылымдық тұрақтылық пен кейбір маңызды аминқышқылдармен ерекшеленеді.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, сары ірімшік құрамын өсімдік текті функционалдық компоненттермен байыту – өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығын арттырудың тиімді әдісі болып табылады. Шырғанақ (Hippophae rhamnoides) және итмұрын (Rosa canina) экстрактілерін қолдану арқылы алынған ұлттық сүтті-ақуызды өнімдердің органолептикалық, физика-химиялық, дәрумендік және аминқышқылдық көрсеткіштері бақылау үлгісімен салыстырғанда айтарлықтай жақсарғаны анықталды.

Органолептикалық бағалау нәтижелері бойынша екі үлгі де тұтынушылық сипаттамалар жағынан тартымды екендігімен ерекшеленді. Шырғанақ қосылған өнім – табиғи сарғыш түсі мен айқын дәмдік ерекшелігімен, ал итмұрын қосылған өнім – тәтті дәмі мен ерекше иісімен көзге түсті. Физика-химиялық тұрғыда шырғанақ экстрактісімен байытылған өнім ақуыз (27,53%) және май (28,2%) мөлшері бойынша көш бастап, ең жоғары тағамдық құндылық көрсетті. Итмұрын қосылған өнімнің ылғалдылығы төмен (14%), бұл оның тығыз құрылымын қамтамасыз етті. Дәрумендік құрамды талдау нәтижесінде итмұрын қосылған өнім В тобы дәрумендерінің (B_1, B_2, B_5) жоғары мөлшерімен ерекшеленсе, шырғанақ қосылған өнім С дәрумені (0,501 мг/100 г) бойынша ең жоғары көрсеткішке жетіп, антиоксиданттық қасиетін арттырды. Аминқышқылдық құрам бойынша шырғанақ экстрактісімен байытылған өнім аминқышқылдардың кең спектрі мен жоғары концентрациясымен ерекшеленіп, әсіресе пролин, валин, фенилаланин, серин және аргинин бойынша жоғары көрсеткіштер көрсетті. Бұл оны биологиялық құндылығы жоғары функционалдық тағам ретінде ұсынуға негіз береді.

Жалпы, зерттеу барысында алынған нәтижелер өсімдік текті қоспалар – шырғанақ және итмұрын экстрактілерінің сары ірімшіктің тағамдық сапасын жақсартудағы маңызын дәлелдеді. Әсіресе, шырғанақ экстрактісімен байытылған өнім барлық негізгі көрсеткіштер бойынша анағұрлым тиімді үлгі ретінде танылды. Бұл тәжірибе ұлттық тағамдарды заманауи технологиямен үйлестіре отырып, нарыққа бағытталған инновациялық функционалдық өнімдер шығару мүмкіндігін көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Рудакова А.Ю. Разработка и производство сырных продуктов с растительными компонентами / А.Ю. Рудакова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 4. – С. 204-209.

2. Кольтюгина О.В. Особенности технологии творожного продукта с облепиховым пюре и оценка его потребительских свойств // О.В. Кольтюгина // Вестник Алтайской науки. – 2015. – № 1. – С. 385-392.

3. Шиповник – природный концентрат витаминов и антиоксидантов [Электронный ресурс]. – https://cyberleninka.ru/article/n/shipovnik-prirodnyy-kontsentrat-vitaminov-i-antioksidantov
4. Грунская В.А. Творожные продукты, обогащенные пробиотической микрофлорой / В.А. Грунская // Молочная промышленность. – 2017. – № 8. – С. 41-43.
5. ТурСар [Электронный ресурс]. https://www.tursar.ru/page-joy.php?j=3058
6. Химический состав и антиоксидантные свойства видов рода Rosa L. [Электронный ресурс]. – https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskiy-sostav-i-antioksidantnye-svoystva-vidov-roda-rosa-l
7. Коротких И.В. Сыроделие и маслоделие. – 2016. – № 2. – С. 46-47.
8. Грунская В.А. Ресурсосберегающие технологии в производстве кисломолочных продуктов / В.А. Грунская, Д.С. Габриелян // Молочная промышленность. – 2018. – № 12. – С. 34-36.
9. Тринеева О.В. Исследование аминокислотного состава извлечений из растительных объектов методом двумерной ТСХ / О.В. Тринеева // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2014. – Т. 14, вып. 3. – С. 530-536.
10. Использование ягодного сырья в технологии мягкого сыра функционального назначения / А.В. Борисова и др. // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – № 1. – С. 11-20.
11. Подоляк А. Травник: описание 300 лекарственных растений и способы их применения от 100 самых распространенных заболеваний / А. Подоляк. – Москва: Эксмо, 2015. – 896 с.
12. Евдокимов И.А. Концепция получения молочной основы с повышенным содержанием сухих веществ для ферментированных продуктов / И.А. Евдокимов // Молочная промышленность. – 2017. – № 12. – С. 26-27.
13. ГОСТ 7616-85. Сыры сычужные твердые. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008.
14. ГОСТ 3626-73. Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества. – М.: Стандартинформ, 2008.
15. ГОСТ 5867-90. Молоко и молочные продукты. Методы определения жира. – М.: Стандартинформ, 2008.
16. ГОСТ 32915-2014. Молоко и молочная продукция. Определение жирнокислотного состава жировой фазы методом газовой хроматографии. – М.: Стандартинформ, 2015.
17. ГОСТ 32307-2013. Мясо и мясные продукты. Определение содержания жирорастворимых витаминов методом ВЭЖХ. – М.: Стандартинформ, 2014.
18. DjVu Online [Электронный ресурс]. https://djvu.online/file/36Rw47PZtMhLF.

References

1. Rudakova A.YU. Razrabotka i proizvodstvo syrnykh produktov s rastitel'nymi komponentami / A.YU. Rudakova // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv. – 2014. – № 4. – S. 204-209. (In Russian).
2. Kol'tyugina O.V. Osobennosti tekhnologii tvorozhnogo produkta s oblepikhovym pyure i otsenka ego potrebitel'skikh svoistv // O.V. Kol'tyugina // Vestnik Altaiskoi nauki. – 2015. – № 1. – S. 385-392. (In Russian).
3. Shipovnik – prirodnyi kontsentrat vitaminov i antioksidantov [Ehlektronnyi resurs]. – https://cyberleninka.ru/article/n/shipovnik-prirodnyy-kontsentrat-vitaminov-i-antioksidantov. (In Russian).
4. Grunskaya V.A. Tvorozhnye produkty, obogashchennye probioticheskoi mikrofloroi / V.A. Grunskaya // Molochnaya promyshlennost'. – 2017. – № 8. – S. 41-43. (In Russian).
5. TuRSar [Ehlektronnyi resurs]. https://www.tursar.ru/page-joy.php?j=3058. (In Russian).
6. Khimicheskii sostav i antioksidantnye svoistva vidov roda Rosa L. [Ehlektronnyi resurs]. – https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskiy-sostav-i-antioksidantnye-svoystva-vidov-roda-rosa-l
7. Korotkikh I.V. Syrodelie i maslodelie. – 2016. – № 2. – S. 46-47. (In Russian).
8. Grunskaya V.A. Resursosberegayushchie tekhnologii v proizvodstve kislomolochnykh produktov / V.A. Grunskaya, D.S. Gabrielyan // Molochnaya promyshlennost'. – 2018. – № 12. – S. 34-36. (In Russian).
9. Trineeva O.V. Issledovanie aminokislotnogo sostava izvlechenii iz rastitel'nykh ob''ektov metodom dvumernoi TSKH / O.V. Trineeva // Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy. – 2014. – T. 14, vyp. 3. – S. 530-536. (In Russian).
10. Ispol'zovanie yagodnogo syr'ya v tekhnologii myagkogo syra funktsional'nogo naznacheniya / A.V. Borisova i dr. // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. – 2020. – № 1. – S. 11-20. (In Russian).

11. Podolyak A. Travnik: opisanie 300 lekarstvennykh rastenii i sposoby ikh primeneniya ot 100 samykh rasprostranennykh zabolevanii / A. Podolyak. – Moskva: Ehksmo, 2015. – 896 s. (In Russian).
12. Evdokimov I.A. Kontseptsiya polucheniya molochnoi osnovy s povyshennym soderzhaniem sukhikh veshchestv dlya fermentirovannykh produktov / I.A. Evdokimov // Molochnaya promyshlennost'. – 2017. – № 12. – S. 26-27. (In Russian).
13. GOST 7616-85. Syry sychuzhnye tverdye. Tekhnicheskie usloviya. – M.: Standartinform, 2008. (In Russian).
14. GOST 3626-73. Moloko i molochnye produkty. Metody opredeleniya vlagi i sukhogo veshchestva. – M.: Standartinform, 2008. (In Russian).
15. GOST 5867-90. Moloko i molochnye produkty. Metody opredeleniya zhira. – M.: Standartinform, 2008. (In Russian).
16. GOST 32915-2014. Moloko i molochnaya produktsiya. Opredelenie zhirnokislotnogo sostava zhirovoi fazy metodom gazovoi khromatografii. – M.: Standartinform, 2015. (In Russian).
17. GOST 32307-2013. Myaso i myasnye produkty. Opredelenie soderzhaniya zhirorastvorimykh vitaminov metodom VEHZHKH. – M.: Standartinform, 2014. (In Russian).
18. DjVu Online [Ehlektronnyi resurs]. https://djvu.online/file/36Rw47PZtMhLF. (In English).

Б.Қ. Оспанова[1*], Т.Ч. Тултабаева[1], А.Е. Турсынханова[2], Р.У. Ашакаева[2], Ұ.Е. Асанова[2]
[1]Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
010000, Казахстан, г. Астана, пр. Победа 62
[2]Alikhan Bokeikhan University,
071411, Казахстан, г.Семей, ул. Мәңгілік ел 11
[*]e-mail: ospanova93-93@mail.ru

ОБОГАЩЕНИЕ СОСТАВА НАЦИОНАЛЬНОГО МОЛОЧНОГО ПРОДУКТА РАСТИТЕЛЬНЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ, СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБЛЕПИХИ И ШИПОВНИКА

В статье рассматриваются возможности обогащения состава традиционного молочно-белкового продукта – казахского сыра – растительными биологически активными добавками. Актуальность исследования заключается в обосновании возможности повышения пищевой и биологической ценности традиционных продуктов за счёт добавления натуральных растительных ингредиентов. Целью исследования является обогащение курта экстрактами облепихи (Hippophae rhamnoides) и шиповника (Rosa canina) с целью улучшения органолептических, физико-химических, витаминных и аминокислотных характеристик. Экстракты были приготовлены натуральным способом и добавлены в молоко на этапах ферментативного створаживания, варки, прессования и сушки. Полученные образцы подвергались комплексной оценке по пищевой ценности, антиоксидантной активности и потребительским характеристикам. Результаты показали, что образец, обогащённый экстрактом облепихи, имел более высокое содержание белка, жира и витамина С, а также широкий и стабильный аминокислотный профиль. Продукт с добавлением экстракта шиповника содержал больше витаминов группы В и отличался повышенной антиоксидантной активностью. Оба образца получили высокие органолептические оценки – плотная консистенция, приятный вкус и аромат были положительно восприняты потребителями. Полученные данные подтверждают, что обогащение курта растительными компонентами повышает его пищевую и биологическую ценность и является перспективным направлением модернизации национальных продуктов питания и создания функциональных продуктов, полезных для здоровья.

Ключевые слова: *казахский сыр, функциональное питание, облепиха, шиповник, экстракты, витамины, аминокислоты, пищевая ценность.*

B.K. Ospanova[1*], T.Ch. Tultabayeva[1], A.E. Tursynhanova[2], R.U. Ashakayeva[2], U.E. Asanova[2]
[1]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University,
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Zhenis Avenue 62
[2]Alikhan Bokeikhan University,
071411, Republic of Kazakhstan, Semey, Mangilik El 11
[*]e-mail: ospanova93-93@mail.ru

ENRICHMENT OF A TRADITIONAL DAIRY PRODUCT WITH PLANT-BASED FUNCTIONAL ADDITIVES, COMPARATIVE EFFICIENCY OF SEA BUCKTHORN AND ROSEHIP

This article explores the potential of enriching the composition of a traditional Kazakh dairy protein product – sary irimshik (curd cheese) – with plant-based bioactive additives. The relevance of the study lies in substantiating the potential of enriching traditional foods with natural plant-based ingredients to improve their nutritional and biological value. The objective of the research is to enrich sary irimshik with extracts of sea buckthorn (Hippophae rhamnoides) and rosehip (Rosa canina) to enhance its organoleptic, physicochemical, vitamin, and amino acid profiles. During the experiment, natural extracts were prepared and added to milk, followed by enzymatic coagulation, boiling, pressing, and drying processes. The resulting samples were evaluated comprehensively in terms of nutritional value, antioxidant activity, and consumer appeal. The findings revealed that the sample enriched with sea buckthorn extract showed a higher content of protein, fat, and vitamin C, along with a broader and more stable amino acid composition. The product enriched with rosehip extract exhibited a higher content of B-group vitamins and demonstrated greater antioxidant activity. Both enriched samples received high organoleptic ratings due to their dense texture, pleasant taste, and aroma. The study concludes that enriching sary irimshik with plant-based ingredients significantly enhances its nutritional and biological effectiveness. This approach is a promising direction for modernizing traditional foods and developing health-beneficial functional food products.

Key words: *Kazakh cheese, functional food, sea buckthorn, rosehip, extracts, vitamins, amino acids, nutritional value.*

Авторлар туралы мәліметтер

Балжан Қанаткелдықызы Оспанова* – техника ғылымдарының магистрі, «Тамақ және қайта өңдеу технологиясы» кафедрасының докторанты; С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық Университеті, Қазақстан; e-mail: ospanova93-93@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1237-2413.

Тамара Чумановна Тултабаева – техника ғылымдарының докторы, доцент; С. Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық Университеті**,** Қазақстан; e-mail: tamara_tch@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2483-7406.

Айым Елтаевна Турсынханова – техника ғылымдарының магистрі, Alikhan Bokeikhan University; Қазақстан; e-mail: aiym.tursynkhanova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3014-1985.

Рысгуль Улыбаевна Ашакаева – PhD, Alikhan Bokeikhan University; Қазақстан;, e-mail: ryskulkamara@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8501-0600.

Ұлбала Есентуровна Асанова – техника ғылымдарының магистрі, Alikhan Bokeikhan University; Қазақстан; e-mail: esenturovna87@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6733-9936.

Сведения об авторах

Балжан Қанаткелдықызы Оспанова* – магистр технических наук, докторант кафедры «Технология пищевых продуктов и переработки»; Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Казахстан; e-mail: ospanova93-93@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1237-2413.

Тамара Чумановна Тултабаева – доктор технических наук, доцент; Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Қазақстан; e-mail: tamara_tch@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2483-7406.

Айым Елтаевна Турсынханова – магистр технических наук, Alikhan Bokeikhan University; Казахстан; e-mail:aiym.tursynkhanova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3014-1985.

Рысгуль Улыбаевна Ашакаева – PhD, Alikhan Bokeikhan University; Казахстан; e-mail: ryskulkamara@mail.ru.ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8501-0600.

Ұлбала Есентуровна Асанова – магистр технических наук, Alikhan Bokeikhan University; Казахстан; e-mail: esenturovna87@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6733-9936.

Information about the authors

Balzhan Kanatkeldyzy Ospanova* – Master of Technical Sciences, doctoral student of the Department of Food Technology and Processing; Kazakh Agrotechnical University named after S.Seifullin, Kazakhstan; e-mail: ospanova93-93@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1237-2413.

Tamara Chumanovna Tultabaeva – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; Kazakh Agrotechnical University named after S.Seifullin, Kazakhstan; e-mail: tamara_tch@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2483-7406.

Aiym Eltayevna Tursynkhanova – Master of Technical Sciences, Alikhan Bokeikhan University; Kazakhstan; e-mail: aiym.tursynkhanova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3014-1985.

Rysgul Ulybayevna Ashakayeva – PhD, Alikhan Bokeikhan University; Kazakhstan; e-mail: ryskulkamara@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8501-0600.

Ulbala Esenturovna Asanova – Master of Technical Sciences, Alikhan Bokeikhan University; Kazakhstan; e-mail: esenturovna87@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6733-9936.

Редакцияға енуі 05.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 18.06.2025
Жариялауға қабылданды 20.06.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-34

МРНТИ: 62.09.39

BY 4.0
Check for updates

А.Б. Омарова[1]*, Г.Т. Касенова[2], А.Д. Серикбаева[3], Т.Д. Икомбаев[4], А.К. Туганбай[5]
[1]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, 010011,
Республика Казахстан, г.Астана, пр. Женис 62
[2]Национальный референтный центр по ветеринарии,
Республика Казахстан, г.Алматы, пр. Е. Серкебаева, дом 78
[3]Казахский национальный аграрный исследовательский университет,
Республика Казахстан, г. Алматы, Абая 8
[4]АО «Фонд науки»,
010000, Республика Казахстан, г.Астана, пр. Тәуелсіздік, ЗД. 41
[5]Университет Хельсинки,
00014, Финляндия, город Хельсинки, Fabianinkatu 33
*e-mail: akonia-1989@mail.ru

СКРИНИНГ ЭКЗОПОЛИСАХАРИДПРОДУЦИРУЮЩИХ ШТАММОВ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПИЩЕВОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

Аннотация: *В статье представлены результаты изучения технологических свойств и способности к синтезу экзополисахаридов молочнокислых бактерий, выделенных из отечественных традиционных кисломолочных продуктов. Идентификация штаммов проводилась с использованием методов MALDI-TOF MS и API 50CHL. Все тестируемые штаммы проявили способность к росту в молоке. Через 24 часа инкубации они образовывали однородную плотную консистенцию, напоминающую йогурт, и обладали приятным ароматом, характерным для кисломолочных продуктов.*

Следует отметить, что по технологическим показателям штаммы Lactobacillus acidophilus 3.7 и Lactobacillus acidophilus 3.10 продемонстрировали наилучшие результаты: общее количество клеток составило соответственно 3,6 ± 2,3×10⁸ и 1,8 ± 4,0×10⁹ КОЕ/мл, а значения pH – 3,6 и 3,7. Установлено, что из девяти исследуемых культур восемь штаммов проявили положительную экзополисахаридпродуцирующую активность. Эти штаммы были отобраны для последующей оценки пробиотических свойств для применения их в рамках дальнейших исследований.

По результатам проведенного скрининга показано, что штамм Lb,paracasei 4.2 проявил высокую экзополисахарид-продуцирующую активность.

Ключевые слова: *экзополисахариды, молочнокислые бактерий, пробиотические свойства, пребиотические свойства, скрининг.*

В настоящее время идет потенциальный рост применения бактериальных экзополисахаридов (ЭПС) в различных сферах жизнедеятельности человечества [1-6]. Экзополисахариды (ЭПС) представляют собой внеклеточные длинноцепочечные биополимеры, образующиеся ходе метаболического процесса микроорганизмов, таких как бактерии, грибы и сине-зеленые водоросли [7].

Полисахариды, синтезируемые бактериями имеют ряд значительных преимуществ перед полисахаридами растительной природы. Во-первых полисахариды бактериального происхождения можно получать в нужном количестве независимо от сезона года; во-вторых, эти метаболиты можно получить экономически выгодным путем из-за относительной дешевизны субстратов, на которых микроорганизм способен продуцировать ЭПС в большом объеме; в-третьих, микробные ЭПС уникальны тем, что в них обнаруживаются моносахара, которых нет в полисахаридах другого происхождения [8].

В этом отношении экзополисахариды, синтезируемые молочнокислыми бактериями считаются наиболее перспективными благодаря уникальным биологическим, функционально-технологическим и физико-химическим свойствам. Известно, что молочнокислые бактерии являются богатым источником биологически активных веществ, который может быть использован для разработки новых классов лекарственных препаратов, БАД к пище, продуктов функционального питания, косметических средств, материалов для лечения ран и пр.

Важно отметить, что экзополисахариды (ЭПС) молочнокислых бактерий обладают высокими технологическими и функциональными аспектами, которые отвечают за структурные, реологические и органолептические свойства пищевых продуктов. Кроме того, ЭПС обладают стабилизирующими свойствами, которые способны улучшать заданные свойства конечного продукта, а также усиливать функциональные свойства, такие как антиоксидантный и пребиотический. Пребиотический потенциал дает возможность разработать симбиотические продукты путем объединения ЭПС и пробиотических культур. В связи с этим использование ЭПС при производстве пищевых продуктов является значимым, в частности в производстве йогурта высокого качества.

Следует отметить, что перспектива использования ЭПС с каждым годом растет не только в пищевой промышленности, но и в практике экспериментальной биологии, ветеринарии и сельском хозяйстве.

Молочнокислые бактерии могут продуцировать широкий спектр разнообразных по структуре экзополисахаридов, обладающие способностью противостоять суровым условиям окружающей среды, включая температуру, pH, антибиотики и иммунную систему хозяина [9].

В настоящее время во многих научно-исследовательских лабораториях ведущих стран мира проводится разработка эффективных способов получения полисахаридов таких как декстран, ксантан, геллан, склероглюкан, курдлан, пуллулан. В середине 60-х годов XX столетия на биотехнологических предприятиях США начался выпуск микробных полисахаридов. Ряд авторов утверждают, что для получения максимального количества ЭПС в лабораторных условиях необходимо оптимизировать условие выращивания [10]. В результате исследований им было установлено, что урожайность ЭПС была выше на питательных средах с добавками и с измененным составом среды. В этом направлении была проведена исследовательская работа по оценке различных сред для получения пенополистирола [11].

В работах некоторых исследователей также отмечено, что питательные среды на основе молока оказались подходящими субстратами для образования пенополистирола, особенно при добавлении достаточного количества углерода. ЭПС, полученные в лаборатории делятся на эластичные или не-эластичные ЭПС. При исследовании поверхности слизистых колоний бактериологической петлей обнаруживаются длинные нити, указывающие на волокнистость, характерную для ЭПС в колониях [12].

Среди широкого разнообразия микроорганизмов, продуцирующих ЭПС, молочнокислые бактерии (МКБ) обычно считаются безопасными в потреблении человеком [13].

В настоящее время растет спектр применения ЭПС молочнокислых бактерий, благодаря их уникальным физико-химическим свойствам и биологической активности в производстве пищевых продуктов, фармацевтических препаратов, биофлокулянтов, биоэмульгаторов и химических продуктов.

Важно отметить, что в ферментированной пищевой промышленности ЭПС молочнокислых бактерий обычно используются в качестве естественной альтернативы коммерческим стабилизаторам из-за их загущающих, стабилизирующих, эмульгирующих или гелеобразующих свойств для улучшения реологии, текстуры и вкусовых ощущений ферментированных продуктов, включая йогурт и сыр.

Результаты исследований некоторых авторов, показывают, что ЭПС, продуцирующие МКБ обладают иммуномодулирующими, противоопухолевыми, антиоксидантными свойствами и активностью по снижению уровня холестерина за счет чего укрепляют здоровье человека [14].

Однако, некоторые штаммы микрорганизмов рода Lactobacillus отличаются низким синтезом ЭПС и высокими затратами на их очистку.

Поэтому в мире продолжается поиск активных микроорганизмов-продуцентов ЭПС и исследование их свойств с дальнейшим применением. Известно, что среди молочнокислых бактерий, продуцирующих ЭПС, Lactobacillus plantarum известен своими потенциальными пробиотическими свойствами и в последние годы привлек к себе значительное внимание. Показано, что выход ЭПС, состав и структура моносахаридов во многом зависят от микроорганизмов-продуцентов, условий их культивирования и состава сред.

Кроме того, ряд авторов утверждают, что L. plantarum KF5, выделенный из тибетского кефира, состоит из маннозы, глюкозы и галактозы в примерном соотношении 1: 4.99: 6.90.

Как было описано ранее, преимуществом микробных полисахаридов является то, что их производство и качество не зависят от условий природы. Из этого следует отметить, что производство микробных полисахаридов является перспективным и экономически выгодным процессом по сравнению с производством растительных и синтетических полимеров.

Доказано, что бактерий родов Streptococcus, Lactococcus, Pediococcus, Lactobacillus [15]., L. plantarum [16], L. Helveticus [17], L. rhamnosus [18] и L. fermentum [19] продуцируют ЭПС и их называют специфическими штаммами лактобактерий.

Методы исследования

Выделение чистых культур

Выделение новых штаммов молочнокислых бактерий из традиционных кисломолочных продуктов, таких как кумыс, шубат, творог из различных регионов Республики Казахстан, осуществляли методом последовательных разведений с использованием глубокого посева в чашку Петри. Для выделения жизнеспособных микроорганизмов из жидких образцов, их разводили в 10 раз в физиологическом растворе, приготовленном из 8,5 г/л NaCl и 1 г/л пептона, при pH 7. Полученную смесь встряхнули для получения однородной консистенции, после чего из полученной разведений 1 мл внесли в стерильную чашку Петри и сверху налили растопленную агаровую среду MRS (Merck, США), приготовленную в соответствии с инструкциями поставщиков.

Инкубацию проводили при 5%-ном содержании CO_2 и температуре 37°C в течение 72 часов в анаэробных условиях, используя пакетики Anaerojar с анаэрогеном объемом 2,5 л, в течение 72 часов. После инкубирования выросшие колонии отбирали и переносили в пробирки с бульоном MRS (Merck, США). Изоляты культивировали в течение 24 часов при температуре 37°C. Чистоту проверяли с помощью светового микроскопа. Для дальнейших целевых исследований были отобраны чистые изоляты с типичной морфологией лактобактерий.

Идентификация лабораторных изолятов с использованием методов MALDI-TOF/MS и API 50CHL

Идентификация лабораторных изолятов проводилась с использованием методов MALDI-TOF/MS и API 50CHL. Для масс-спектрометрии MALDI-TOF использовался масс-спектрометр Microflex (Bruker Daltonics, Германия). Для анализа были получены клетки из свежих ночных культур на агаре MRS в соответствии с рекомендациями производителя, с использованием этанола и муравьиной кислоты для экстракции. Масс-спектры были получены с использованием 50 лазерных импульсов при подходящей мощности излучения.

Система API 50 CH, включающая 50 биохимических тестов, была использована для идентификации рода Lactobacillus и родственных родов путем ферментации углеводов. Бактериальные суспензии были посеяны на среду API 50 CHL, которая регидратирует вещества. О ферментации свидетельствовали изменения цвета, вызванные выделением кислоты в анаэробных условиях, которые определялись с помощью индикатора pH. Результаты идентификации были зарегистрированы на веб-сайте API для каждого штамма, выделенного из молочных продуктов.

Ферментационные способности МКБ – КОЕ и pH во время ферментации.

Для определения роста бактерий в молоке, штаммы были исследованы на предмет их роста в обезжиренном ультрапастеризованном молоке (Pragolaktos, Прага, Чехия) 0,3% жирности. Штаммы были проверены на предмет определения их pH и количества клеток. Стеклянные пробирки заполняли по 5 мл каждой среды вместе с инокулятом (5% по объему). pH измеряли через 0,6 и 24 часа, а количество клеток наблюдали через два разных интервала времени – через 0 и 24 часа. Для подсчета количества клеток использовали методику последовательных разведений для выделения жизнеспособных микроорганизмов из бульона MRS (Merck, США) и обезжиренного ультрапастеризованного молока 0,3% жирности. Среду, используемую для их выращивания, разбавляли в 6-8 раз физиологическим раствором пептона, приготовленным из 8,5 г/л NaCl и 1 г/л пептона при pH 7.

Тестирование на продуцирования экзополисахаридов

Выделенные штаммы выращивали в бульоне MRS, в 5 % по объему CO_2 в течение 24 часов при температуре 37°C. После инкубации 5 мкл смеси отбирали пипеткой на трех различных средах для тестирования получения ЭПС, и чашки инкубировали в течение 24-72 часов при температуре 37°C; 5 % об./об. CO2.

Тестирование на продуцирование ЭПС оценивали путем культивирования штаммов на следующих средах: 1) Агар MRS – MRS-Красное Конго, 2) агар MRS S+L – КРАСНОЕ Конго с сахарозой и лактозой и 3) Молоко – молочный агар с красным конго.

Штаммы, которые образовали на среде с конго-красным колонии темного цвета со слизистой, глянцевой и слизевидной поверхностью, были оценены как продуцирующие ЭПС. Проволочную петлю использовали для того, чтобы осторожно приподнять веревку с поверхности колонии, выращенной на среде с конго-красным в чашке Петри. Показатель вязкости, представляющий собой длину полученного жгута, измерялся в миллиметрах. Образование жгута толщиной более 1-2 мм указывает на выработку пенополистирола.

Результаты исследований

В результате проведенных исследований нами было выделено всего 150 изолятов молочнокислых бактерий из различных традиционных кисломолочных продуктов Восточно-Казахстанской и Южно-Казахстанской областей.

Были изучены основные фенотипические особенности чистой культуры выделенных штаммов: культуральные свойства колоний, морфология клеток в микроскопических препаратах, а также активность каталазы с использованием общепринятых в микробиологии методов анализа.

Лактобактерии представляли собой чистые культуры, которые являются неподвижными, не образуют каталазу. Видовая идентификация лактобактерий проводилась на основе изучения их культуральных, морфологических свойств с учетом их ферментативных свойств. Определение морфологии клеток, как обычно, проводилось с использованием методов микроскопии с помощью камеры Olympus DP 74.

В результате для определения параметра ферментации и для скрининга продуцирования экзополисахаридов были отобраны 9 чистых штаммов молочнокислых бактерии (табл. 1).

Таблица 1 – Сведения об источниках образцов, использованных для выделения молочнокислых бактерий

№	Образцы	Номер образца	Местоположение
1	Кобылье молоко	3	Алматинская область
2	Верблюжье молоко	4	Алматинская область
3	Творог	5	Восточно-Казахстанская область, село Самарское

Идентификация лабораторных изолятов с использованием методов MALDI-TOF/MS и API 50CHL приведены в таблице 2. Полученные данные показывают что результаты двух тестов совпадают для изолятов 4.1 и 4.2.

Таблица 2 – Результаты идентификация лабораторных изолятов с использованием методов MALDI-TOF/MS и API 50CHL

№	Штаммы	Источник	API 50 CHL	MALDI TOF
1	3.7	Кобылье молоко	*Lb,delbrueckii 80,4%* *Lb,delbrueckii 51,5%*	*Lactobacillus acidophilus* *Lactobacillus amylovorus*
2	3.10	Кобылье молоко	*Lb,delbrueckii 98%*	*Lactobacillus acidophilus* *Lactobacillus crispatus*
3	4.1	Верблюжье молоко	*Lb,plantarum 98,9%* *Lb,plantarum 46,1%*	*Lactobacillus plantarum*
4	4.2	Верблюжье молоко	*Lb,paracasei 79,9%*	*Lactobacillus paracasei*
5	4.6	Верблюжье молоко	*Lb,paracasei 51,5%* *Lactococcus lactis 37,1%*	*Lactobacillus ultunensis* *Lactobacillus gallinarum*
6	5.2.1	Творог	*Lb,pentosus 72,7%* *Lb,pentosus 86,1%*	*Lactobacillus plantarum*
7	5.2.3	Творог	*Lb,plantarum 88,3%* *Lb,paracasei 79,9%*	*Lactobacillus gallinarum*
8	5.3.6	Творог	*Lb,plantarum 94,2%* *Lb,paracasei 98%*	*Lactobacillus gallinarum*
9	5.3.7	Творог	*Lb,plantarum 99,7%* *Lb,brevis 55,3%*	*Lactobacillus amylovorus* *Lactobacillus ultunensis*

Изучение технологических свойств молочнокислых бактерий при скрининге штаммов имеет важное значение. Суть изучения технологических свойств молочнокислых бактерий заключается в исследовании их характеристик, важных для производства кисломолочных продуктов. При использовании различных видов лактобацилл в ферментированных продуктах важно учитывать их стабильность при низком pH, совместимость со штаммами йогуртовых культур и рост на выбранных питательных средах, таких как обезжиренное молоко.

В этой связи нами 9 штаммов были протестированы на некоторые технологические свойства. Параметры ферментации штаммов приведены в таблице 3. Культивирование выделенных изолятов в обезжиренном ультрапастеризованном молоке (Pragolaktos, Прага, Чехия) проводили при температуре 37°C, в аэробных условиях. pH во время ферментации проверяли три раза: 0, 6 и после 24 часов инкубации.

Таблица 3 – Параметры ферментации штаммов и количество микроорганизмов до и после культивирования в обезжиренном ультрапастеризованном молоке

№	Штаммы	pH t-0	pH t-6	pH t-24	CFU t-0	CFU t-24
1	3.7	6.5	5.5	3.6	$2.0*10^6$	$3.6*10^8$
2	3.10	6.2	5.5	3.7	$2.5*10^6$	$1.8*10^9$
3	4.1	6.4	5.6	4.0	$1.3*10^8$	$1.1*10^8$
4	4.2	6.3	5.9	4.0	$3.5*10^7$	$2.7*10^9$
5	4.6	6.5	6	4.2	$9.0*10^6$	$8.7*10^8$
6	5.2.1	6.4	6.1	4.6	$1.6*10^7$	$1.5*10^8$
7	5.2.3	6.5	6.5	4.4	$6.3*10^6$	$1.7*10^9$
8	5.3.6	6.3	6.1	4	$3.7*10^7$	$1.4*10^8$
9	5.3.7	6.3	5.3	3.8	$1.5*10^7$	$1.0*10^9$

Все протестированные штаммы вызывали свертывание молока при температуре 37°C в течение 24 часов. Штаммы 3.7 и 5.3.7 начинали свертывать молоко после 4 часов инкубации. pH ферментированных продуктов после 24 часов инкубации составлял от 3,6 до 4,9. Все протестированные штаммы обладают способностью расти в молоке, через 24 часа они образуют однородную плотную консистенцию в виде йогурта и имеют приятный запах, характерный для кисломолочных продуктов. Штаммы 3.7 и 3.10 показали хорошие результаты, соответственно, общее количество вызовов составило 3,6=$2,3*10^8$ и 1,8=$4,0*10^9$, а pH составил 3,6 и 3,7.

В таблице 3 приведены результаты измерения pH и количества клеток штаммов в молоке, где показано, что количество клеток увеличивалось в период от 0 до 24 ч. Штаммы 5.2.1, 5.2.3 и 4.6 проявляли низкую подкисляющую активность в молоке, при этом через 24 ч культивирования pH снизился с исходного 6,4-6,5 до 4,4-4,6. В то же время штаммы 3.7, 3.10 и 5.3.7 показали более высокую подкисляющую активностью в обезжиренном молоке, при этом его pH снизился с исходного уровня 6,2-6,5 до 3,6-3,8.

Скрининг на продуцирование ЭПС проводили с использованием сред MRS, MRS S+L и молоко с красным конго, приготовленное, согласно методике. Культивирование проводили в течение 24 ч, 48 ч и 72 ч при температуре 37°C и 5% об/об CO2, после чего была проведена оценка на основе формирования каната и его стабильности, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 – Анализ выработки экзополисахаридов, длины клубочка и его стабильности после культивирования при 37 °C, 5 % об/об CO2 на красном агаре MRS-Конго, агаре MRS с сахарозой и лактозой и на красном агаре Milk-Конго

Штаммы	Длина каната [мм] и его устойчивость		
	MRS	MRS S+L	Milk
5.2.1	Нет проволоки (нить)	Нет проволоки (нить)	Нет проволоки (нить)
3.7	Нет проволоки (нить)	1-3 ^{N}	Нет проволоки (нить)
3.10	Нет проволоки (нить)	Нет проволоки (нить)	1-3 ^{N}
4.2	1-2 ^{N}	5-8 ^{S}	1 ^{N}
4.1	Нет проволоки (нить)	Нет проволоки (нить)	1 ^{N}
4.6	Нет проволоки (нить)	Нет проволоки (нить)	1-3 ^{N}
5.3.6	1 ^{N}	1-2 ^{N}	1 ^{N}
5.3.7	Нет проволоки (нить)	1-2 ^{N}	1 ^{N}
5.2.3	1 ^{N}	Нет проволоки (нить)	Нет проволоки (нить)
**N – нестабильность, устойчивость каната менее 1 с; S – устойчивость каната более 1 с.*			

Результаты метода скринингового культивирования представлен на рисунке 1. Стрелкой показано местоположение исследуемых 9 штаммов. Результаты тестирования на экзополисахариды основаны на трех независимых экспериментах. Надписи «молоко -лицевая сторона» и «молоко – обратная сторона» были нанесены с обеих сторон чашки для лучшей визуализации колоний.

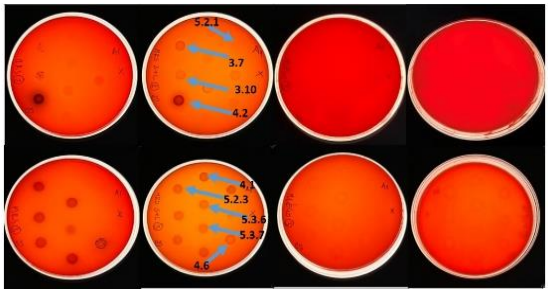


Рисунок 1 – Анализ выработки экзополисахаридов после культивирования на красном агаре MRS-Конго, MRS-агаре с сахарозой и лактозой (MRS S+L) и на молочном агаре Молоко-Конго для исследуемых штаммов молочнокислых бактерий.

Из 9-ти исследуемых штаммов 8 показали положительный результат на выработку ЭПС, они образовали на среде с конго-красным колонии темного цвета со слизистой, глянцевой и слизевидной поверхностью. Показатель вязкости, представляющий собой длину полученного жгута, измерялся в миллиметрах и результаты показаны в таблице 4. Образованные жгутики у 8 штаммов были толщиной более 1-2 мм, что свидетельствует о том, что данные молочнокислые бактерий проявляют экзополисахаридпродуцирующую активность. Лучшим штаммом по синтезу ЭПС был признан *Lb. paracasei* 4.2.

После скрининговых тестов с использованием MRS, MRS S+L и молочных сред, были отобраны штаммы, синтезируемые ЭПС для оценки дальнейших пробиотических свойств.

Обсуждение научных результатов

Целью данного исследования было выделение новых отечественных ЭПС синтезируемых штаммов и определение их пробиотических свойств.

Нами были выделены штаммы из различных источников и протестированы на получение ЭПС с использованием агаровой чашки с Конго-красным. Инкубацию проводили при 5%-ном содержании CO2 и 37°C в течение 72 часов. После скрининговых тестов с использованием MRS, MRS S+L и молочных сред были отобраны 7 штаммы на основе производства EPS для оценки дальнейших пробиотических свойств.

Реологические свойства йогурта и других молочных продуктов могут быть обусловлены содержанием ЭПС, которые образуются в процессе ферментации (Lo et al., 2007). ЭПС могут оказывать пребиотическое действие, способствуя колонизации пробиотических бактерий, таких как лактобактерии и бифидобактерии, из-за их устойчивости к пищеварительным ферментам человека. ЭПС, производимые МКБ обладают широким спектром функциональных свойств и укрепляющих здоровье свойств, включая связывание холестерина, защиту от биопленок, противораковые и иммуномодулирующие эффекты (Juráškova et al., 2022).

Наличие прозрачной или кремообразной субстанции, содержащей колонии слизи, указывает на возможность образования ЭПС. Для наблюдения за поверхностными характеристиками бактерий, такими как образование биопленки и экзополисахаридов, в питательную среду добавляют красный конго. Lactobacillus spp. синтезирует ЭПС в присутствии концентраций сахара, как в нашем случае при 40 г/л s и 40 г/л лактозы (рис. 1), что позволило получить самые темные мукоидные колонии на агаровой среде.

Изоляты оценивались по их свойствам, которые важны для технологии ферментированных продуктов, таким как способность к сквашиванию молока. Девять штаммов лактобактерий были протестированы на их способность сбраживать обезжиренное молоко с содержанием жира 0,3% в течение 24 часов. Штаммы 3.7 и 3.10, инкубированный при температуре (37°C, в течение 24 часов), рос очень хорошо и соответственно снизил pH с 6,5 и 6,2 до 3,6 и 3,7, как показано в таблице 3.

Заключение

Для достижения цели нами было выделено всего 150 изолятов молочнокислых бактерий из различных традиционных кисломолочных продуктов Восточно-Казахстанской и Южно-Казахстанской областей, из которых по активности были отобраны 9 культур для идентификации и дальнейших заданных исследований. Идентификацию культур проводили с использованием современных методов MALDI-TOF/MS и API 50CHL.

При определении технологических свойств все протестированные лабораторные штаммы были способны свертывать молоко при температуре 37°С в течение 24 часов. Из них штаммы 3.7 и 5.3.7 проявили наиболее высокую активность, начинали свертывать молоко уже после 4 часов инкубации. При этом pH ферментированных продуктов после 24 часов инкубации составлял от 3.6 до 4.9.

Нужно отметить активность штаммов 3.7 и 3.10, которые показали хорошие результаты. Так, общее количество клеток составило $3,6\pm2,3*10^8$ и $1,8\pm4,0*10^9$, а pH – 3,6 и 3,7.

Положительный результат по выработке ЭПС показали 8 бактериальных изолятов из 9-ти исследуемых. Продуцирование ЭПС специфичен для гликогена и других ферментированных углеводов.

Наиболее высокий уровень по продуцированию ЭПС показал штамм *Lb,paracasei* 4.2 по сравнению другими исследуемыми штаммами.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что самым активным экзополисахарид продуцирующим штаммом является *Lb,paracasei* 4.2, который имеет перспективу применения в промышленной биотехнологии.

Список литературы

1. Sandford P.A. Microbial polysaccharides: new products and their commercial applications / P.A. Sandford, I.W. Cotterell, D.J. Pettitt // Pure and Applied Chemistry. – 1984. – № 56. – P. 895-897.
2. Guezennec J. Bacterial exopolysaccharides from unusual environments and their applications / J. Guezennec // The Perfect Slime: Microbial Extracellular Polymeric Substances (EPS) / H.C. Flemming, T.R. Neu, J. Wingender // N. Y.: Springer, 2016. – P. 135.
3. Kumar A.S. Bacterial exoolysaccharides – a perception / A.S. Kumar, K. Mody, B. Jha // Journal Basic Microbiology. – 2007. – V. 47. – P. 103-117.
4. Leroy F. Advances in production and simplified methods for recovery and quantification of exopolysaccharides for applications in food and health / F. Leroy, L. De Vuyst // Journal of dairy science. – 2016. – V. 99, № 4. – P. 3229-3238.
5. Schmid J. Bacterial exopolysaccharides: biosynthesis pathways and engineering strategies / J. Schmid, V. Sieber, B. Rehm // Frontiers in microbiology. – 2015.
6. Microbial Exopolysaccharides for Biomedical Applications / S. Vasiliu et al // Frontiers in Biomaterials: Unfolding the Biopolymer Landscape. – Sharjah: Bentham Science Publishes UAE. – 2016. – V. 2. – 180 p.
7. The potential biotechnological applications of the exopolysaccharide produced by the halophilic bacterium Halomonas almeriensis / I. Llamas et al // Molecules. – 2012. – № 17. – P. 7103-20.
8. Sutherland IW. Novel and established applications of microbial polysaccharides / IW. Sutherland // Trends Biotechnol. – 1998. – № 16. – P. 41-6.
9. Bernal P. Promising biotechnological applications of antibiofilm exopolysaccharides / P. Bernal, M.A. Llamas Promising // Microb. Biotechnol. – 2012. – № 5. – P. 670-673.
10. Zajšek K. Cultivating conditions effects on kefiran production by the mixed culture of lactic acid bacteria imbedded within kefir grains / K. Zajšek, A. Goršek, M. Kolar // Food Chem. – 2012. – № 139(1-4). – P. 970-977. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.142.
11. 'Ropy'phenotype, exopolysaccharides and metabolism: Study on food isolated potential probiotics LAB / S. Cirrincione et al // Microbiological research. – 2018. – № 214. – P. 137-145.
12. Ruas-Madiedo P. Invited Review: Methods for the Screening, Isolation, and Characterization of Exopolysaccharides Produced by Lactic Acid Bacteria / P. Ruas-Madiedo, C.G. de los Reyes-Gavilán, // Journal of Dairy Science. – 2005. – № 88(3). – P. 843-856. https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72750-8.
13. Ahmad N.H. Microbial polysaccharides and their modification approaches: a review / N.H. Ahmad, S. Mustafa, Y.B. Che Man // Int. J. Food Prop. – 2015. – № 18. – P. 332-347.

14. Physical characterization of exopolysaccharide produced by *Lactobacillus plantarum KF5* isolated from Tibet kefir / Y. Wang et al // Carbohydr. Polym. – 2010/ – № 82. – P. 895-+903.
15. Patel A. Food and health applications of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria / A. Patel, J. Prajapat, // Advances in Dairy Research. – 2013. – P. 1-8.
16. Fontana C. Structural studies of the exopolysaccharide from Lactobacillus plantarum C88 using NMR spectroscopy and the program CASPER / C. Fontana, S. Li, Z. Yang, G. Widmalm // Carbohydrate research. – 2015. – № 402. – P. 87-94.
17. Production of exopolysaccharides by Lactobacillus helveticus MB2-1 and its functional characteristics in vitro / W. Li et al // LWT – Food Science and Technology. – 2014. – № 59(2, Part 1). – P. 732-739. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.063.
18. Oleksy-Sobczak M. Exopolysaccharides production by Lactobacillus rhamnosus strains – Optimization of synthesis and extraction conditions / M. Oleksy-Sobczak et al // Lwt. – 2020. – № 122. – P. 109055. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109055.
19. Exopolysaccharide from Lactobacillus fermentum Lf2 and its functional characterization as a yogurt additive / E.C. Ale et al // J Dairy Res. – 2016. – № 83(4). – P. 487-492. https://doi.org/10.1017/s0022029916000571.

Информация о финансировании

Авторы выражают благодарность «Министерству науки и высшего образования Республики Казахстан» за финансовую поддержку научного, научно-технического проекта AP 22685499 «Потенциал применения экзополисахаридов пробиотических молочнокислых бактерий в пищевой биотехнологии» грантового финансирования исследований молодых ученых по проекту «Жас ғалым» на 2024-2026 годы.

А.Б. Омарова[1*], Г.Т. Қасенова[2], А.Д. Серикбаева[3], Т.Д. Икомбаев[4], А.К. Туғанбай[5]
[1]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
010011, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы 62
[2]Ветеринария жөніндегі ұлттық референттік орталық,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Е. Серкебаев даңғылы, 78 үй.
[3]Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті,
050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, Абай даңғылы 8
[4]«Ғылым Қоры» АҚ,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Тәуелсіздік даңғылы, 41 ғимарат.
[5]Хельсинки университеті,
00014,Хельсинки қаласы, Финляндия Fabianinkatu 33
[*]e-mail:akonia-1989@mail.ru

ТАМАҚ БИОТЕХНОЛОГИЯСЫНДА ҚОЛДАНУ ҮШІН СҮТ ҚЫШҚЫЛЫ БАКТЕРИЯЛАРЫНЫҢ ЭКЗОПОЛИСАХАРИД ӨНДІРЕТІН ШТАММДАРЫН СКРИНИНГІЛЕУ

Мақалада отандық дәстүрлі ашытылған сүт өнімдерінен оқшауланған сүт қышқылы бактерияларының технологиялық қасиеттері мен экзополисахаридтер синтездеу қабілетін зерттеу нәтижелері келтірілген. Штаммдарды идентификациялау MALDI-TOF MS және API 50CHL әдістерін қолдану арқылы жүргізілді. Барлық тексерілген штамдар сүтте жақсы өсу қабілетін көрсетті. 24 сағаттық инкубациядан кейін олар йогуртқа ұқсайтын біртекті, тығыз консистенцияны қалыптастырды және ашытылған сүт өнімдеріне тән жағымды хош иіске ие болды.

Технологиялық көрсеткіштер бойынша Lactobacillus acidophilus 3.7 және Lactobacillus acidophilus 3.10 штамдары ең жақсы нәтиже көрсеткенін атап өткен жөн: жасушалардың жалпы саны сәйкесінше 3,6 ± 2,3×10⁸ және 1,8 ± 4,0×10⁹ КТБ/мл, ал ph мәндері 3,6 және 3,7 болды. Зерттелген тоғыз штамның сегіз штаммы оң экзополисахарид өндіретін белсенділік көрсеткені анықталды. Бұл штамдар пробиотикалық қасиеттерді одан әрі зерттеу шеңберінде қолдану үшін кейіннен бағалау үшін таңдалып алынды.

Жүргізілген скрининг нәтижелері бойынша Lb, paracasei 4.2 штаммы жоғары экзополисахарид-өндіру белсенділігін көрсетті.

Түйін сөздер: *экзополисахаридтер, сүт қышқылы бактериялары, пробиотикалық қасиеттері, пребиотикалық қасиеттері.*

A.B. Omarova[1*], G.T. Kassenova[2] , A.D. Serikbaeva[3], T. D. Ikombayev[4], A.K. Tuganbay[5]
[1]Kazakh Agrotechnical Research university named after S. Seifullina,
010011,Republic of Kazakhstan, Astana, Jenis, 62
[2]National Reference Center for Veterinary Medicine,
E.Serkebayev Ave 78., Almaty, Republic of Kazakhstan
[3]Kazakh National Agrarian Research University,
050010, Republic of Kazakhstan, Almaty, Abaya 8
[4]JSC «Science Fund»,
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Tayelsizdik avenue, 41
[5]University of Helsinki,
00014, Finland, Helsinki city, Fabianinkatu 33
*e-mail:akonia-1989@mail.ru

SCREENING OF EXOPOLYSACCHARIDE-PRODUCING STRAINS OF LACTIC ACID BACTERIA FOR USE IN FOOD BIOTECHNOLOGY

The article presents the results of studying the technological properties and the ability to synthesize exopolysaccharides of lactic acid bacteria isolated from domestic traditional fermented milk products. The strains were identified using the MALDI-TOF MS and API 50CHL methods. All tested strains showed the ability to grow in milk. After 24 hours of incubation, they formed a homogeneous, dense consistency, reminiscent of yogurt, and had a pleasant aroma characteristic of fermented dairy products.

It should be noted that, according to technological parameters, the strains Lactobacillus acidophilus 3.7 and Lactobacillus acidophilus 3.10 demonstrated the best results: the total number of cells was 3.6 ± 2.3 × 10^8 and 1.8 ± 4.0 × 10^9 CFU/ml, respectively, and the pH values were 3.6 and 3.7. It was found that of the nine cultures studied, eight strains showed positive exopolysaccharide – producing activity. These strains were selected for the subsequent assessment of probiotic properties for their use in further research.

According to the results of the screening, it was shown that the Lb strain, paracasei 4.2, showed high exopolysaccharide-producing activity.

Key words: *exopolysaccharides, lactic acid bacteria, probiotic properties, prebiotic properties.*

Сведения об авторах

Аккенже Бердихановна Омарова* – PhD, старший преподаватель кафедры «Микробиология и биотехнология», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина»; e-mail:akonia-1989@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9255-1672.

Гульмира Тынышбаевна Касенова – кандидат ветеринарных наук, доцент, Научный сотрудник, Национальный референтный центр по ветеринарии; e-mail: gulmirakassenova1970@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9775-3970.

Асия Демеухановна Серикбаева – доктор биологических наук, профессор, Казахский национальный аграрный университет, профессор кафедры «Технология и безопасность пищевых продуктов»; e-mail:assiya.serikbayeva@kaznau.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4632-7343.

Талгат Дюсюмбекович Икомбаев – магистр технических наук, АО *«*Фонд науки*»,* менеджер департамента коммерциализации технологий. PhD докторант Инновационного Евразийского Университета; e-mail: talgat_ikombaev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0035-1332.

Айгерим Киргизабавна Туганбай – магистр технических наук, докторант Университета Хельсинки, Хельсинки, Финляндия; e-mail: aigerimtuganbay@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7852-7887.

Авторлар туралы мәліметтер

Аккенже Бердихановна Омарова* – PhD, «Микробиология және биотехнология» кафедрасының аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: akonia-1989@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9255-1672.

Гүлмира Тынышбайқызы Қасенова – ветеринария ғылымдарының кандидаты, доцент, ғылыми қызметкер, Ветеринария жөніндегі ұлттық референттік орталық*;* e-mail: gulmirakassenova1970@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9775-3970.

Әсия Демеуханқызы Серікбаева – биология ғылымдарының докторы, профессор. Қазақ ұлттық аграрлық университеті, «Тамақ өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының профессоры; e-mail:assiya.serikbayeva@kaznau.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4632-7343.

Талғат Дүйсүмбекұлы Икомбаев – техника ғылымдарының магистрі, «Ғылым қоры» АҚ, Технологияларды коммерцияландыру департаментінің менеджері. Инновациялық Еуразия Университетінің докторанты, Павлодар, Қазақстан; e-mail: talgat_ikombaev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0035-1332.

Айгерім Қырғызбайқызы Туғанбай – техника ғылымдарының магистрі, Финляндия, Хельсинки, Хельсинки Университетінің PhD докторанты; e-mail: aigerimtuganbay@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7852-7887.

Information about the authors

Akkenzhe Berdikhanovna Omarova* – Doctor of Philosophy PhD, Senior Lecturer of Departments of Microbiology and Biotechnology, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University (KATRU), Republic of Kazakhstan; e-mail: akonia-1989@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9255-1672.

Gulmira Tynyshbaevna Kassenova – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor. Scientific Researcher, National Reference Center for Veterinary Medicine, Almaty, Kazakhstan; e-mail:gulmirakassenova1970@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9775-3970.

Asia Demeukhanovna Serikbaeva – Doctor of Biological Sciences, Professor. Non-profit Joint Stock Company Kazakh National Agrarian University, Professor of the Department of Technology and Food Safety; e-mail:assiya.serikbayeva@kaznau.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4632-7343.

Talgat Dyusyumbekovich Ikombaev – Master of Technical Sciences. Innovative University of Eurasia, Pavlodar, Kazakhstan PhD student. JSC «Science Fund», Technology Commercialization Department Manager; e-mail: talgat_ikombaev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0035-1332.

Aigerim Kyrgyzbaevna Tuganbay – Master of technical science. PhD student of University of Helsinki, Helsinki, Finland; e-mail: aigerimtuganbay@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7852-7887.

Поступила в редакцию 02.06.2025
Принята к публикации 19.06.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-35

BY 4.0
Check for updates

IRSTI: 65.59.03

A.B. Beisembaeva, Sh.A. Abzhanova*, A. Zh. Bozhbanov, A.U. Baibekova, A.Zhengissova[1]
Almaty Technological University,
050012, Republic of Kazakhstan, Almaty, Tole bi street, 100
*e-mail: sh.abzhanova@atu.kz

INFLUENCE OF PAPAIN FERMENT AND BIOPROTECTIVE B-SF-43 ON PH AND FATTY ACIDITY OF MEAT PRODUCTS

Abstract: *This article deals with the influence of plant components on the acid-base balance and fatty acid composition of various meat products. Studies of pH of meat, sausages and meat semi-finished products with the addition of plant extracts have been carried out. In the study the changes of meat pH depending on storage time (1, 3, 24 and 120 hours) were determined for four experimental groups: control (K), with the addition of P (K+P), B (K+B) and B-SF-43 (K+B-SF-43). In the first 24 hours, no significant differences were observed between the groups and pH varied between 5.8 and 6.2. However, by the 120th hour, a significant increase in pH was recorded in all samples, indicating biochemical changes such as protein degradation and ammonia accumulation. The most pronounced increase in pH was observed in groups K+B and K+B-SF-43, which may be due to the application of specific additives or bacteria. The control group (K) showed the lowest pH value at all stages of the study, which may indicate a slow decomposition process. The results obtained confirm the influence of different treatments on the dynamics of meat pH and its quality during storage. Fatty acids were analysed by chromatography to reveal changes in lipid composition with the use of additives. The obtained results demonstrate the promising application of plant components to improve the nutritional value of meat products.*

Key words: *papain, enzymatic treatment, bioprotective cultures, pH of meat products, fatty acid composition, antioxidant properties.*

Introduction

Modern meat processing requires innovative approaches to improve product quality and reduce process costs. One promising area is the use of enzyme preparations that help modify the structure of muscle tissue. Particular attention is paid to plant proteases, such as papain, which have high activity and safety. Ensuring high quality meat products is an important task for the food industry.

During storage, processing and cooking, meat can lose its juiciness, become tough and difficult to digest. This problem is especially acute when using second-rate or lean meat with a high content of connective tissue. One solution to this problem is the use of enzymatic preparations that help improve the texture of meat by breaking down proteins. Papain, one of the most studied and effective plant proteases, can significantly enhance the consumer qualities of meat products [1-6]. Meat and meat products are essential components of the human diet across cultures due to their high content of complete proteins, B vitamins, iron, and other vital micronutrients. However, key quality characteristics such as tenderness, juiciness, flavor, and digestibility may vary considerably depending on the animal's breed, age, slaughter and storage conditions, as well as the processing technology used. In particular, excessive toughness – often associated with meat from older animals or less valuable anatomical parts – is a major reason for consumer rejection.

In light of current demands for the development of competitive, functional, and cost-effective meat products, there is increasing interest in biotechnological methods aimed at improving meat quality. One such method is enzymatic treatment, which enables targeted modification of meat proteins without chemical additives or prolonged thermal processing [7]. Due to the high content of complete proteins and biologically active substances, meat performs not only an energy but also a plastic function in the body, participating in the construction of cells, tissues and enzymatic systems. The modern food industry offers a wide range of meat products: from fresh chilled meat to a variety of semi-finished products, sausages and culinary products. Understanding the chemical composition, structural and organoleptic characteristics of meat, as well as its technological properties is necessary for both producers and consumers [8]. Meat is a multi-component biological structure, which includes muscle, connective, fat and, to a lesser extent, bone tissue. It is a source of key nutrients necessary for the body's vital functions [9].

The protein content of meat varies from 16 to 22% depending on the type and quality of raw materials. Meat proteins are highly valuable because they include all essential amino acids in an optimal ratio. The main types of proteins are: myofibrillar (actin, myosin) – responsible for muscle contractions; sarcoplasmic - enzymes that regulate metabolic processes in tissues; stromal (collagen and elastin) – provide strength to connective tissue and affect the toughness of meat.

The fat content of meat ranges from 2% in lean varieties (e.g. chicken breast, veal) to more than 30% in fatty varieties (pork, lamb). Fat improves the taste of meat, makes it juicy and increases its energy value. It consists of saturated and unsaturated fatty acids, and also contains fat-soluble vitamins – A, D and E [10].

The amount of carbohydrates in meat is minimal – less than 1%. They are mainly represented by glycogen, which affects postmortem changes in tissues and the formation of taste during cooking.

The moisture content of meat is from 55 to 75%, and this value is inversely proportional to the fat content: the higher the fat content, the less water. Water plays an important role in the formation of texture, juiciness and technological characteristics of the meat product.

The mineral composition of meat includes vital elements: iron, phosphorus, zinc, potassium, magnesium and selenium. Heme iron, which is easily absorbed by the body, is especially valuable. Meat is also rich in B vitamins (B1, B2, B6, B12), which are involved in metabolism, the functioning of the nervous system and hematopoiesis processes [11].

Modern technologies of meat products production are aimed at improving their nutritional and biological value, as well as increasing shelf life. In this context, special attention is paid to the use of enzymes and bioprotective cultures capable of influencing the physical and chemical characteristics of meat raw materials. Among such substances, the enzyme papain and bioprotective culture B-SF-43 are widely used.

Among proteolytic enzymes used in the food industry, papain – a plant-derived enzyme obtained from the latex of unripe papaya fruits (Carica papaya) – holds a prominent position. Due to its proteolytic activity on muscle and connective tissues, papain has been widely applied for meat tenderization and in the production of semi-finished meat products, sausages, pates, and dietary foods. Its natural origin, proven effectiveness, and technological versatility make papain a subject of both scientific and practical interest.

Papain is a proteolytic enzyme of plant origin isolated from the fruit of papaya (Carica papaya). It is highly specific to proteins and is used in the food industry to improve the texture of meat, accelerate its maturation and enhance protein digestibility.

Bioprotective cultures are strains of lactic acid bacteria and other microorganisms used to improve food safety through competitive inhibition of pathogenic and undesirable microflora. B-SF-43 culture is among such bioprotective agents capable of extending the shelf life of meat products without the use of chemical preservatives.

Studies show that the introduction of B-SF-43 helps to stabilise the pH of meat products through the production of lactic acid and other metabolites that inhibit the growth of putrefactive microorganisms. In addition, the action of this culture can influence the fatty acid composition of the meat product through enzymatic transformations of lipids, in particular the hydrolysis of triglycerides and the formation of free fatty acids.

Combined use of papain and bioprotective culture B-SF-43 can have a complex effect on raw meat. Papain, breaking down proteins, promotes the formation of amino acids, which can serve as a substrate for lactic acid bacteria. As a result, an accelerated pH reduction is possible, which favourably affects the microbiological safety of the product.

In terms of lipid composition, the enzymatic activity of papain may indirectly affect lipids through the release of lipolytic enzymes from muscle tissues, whereas B-SF-43 promotes lipid bioconversion as a result of its metabolic activity. This may result in alterations in the ratio of saturated to unsaturated fatty acids, which affects the nutritional value and flavour characteristics of the meat product.

Modern approaches to improving the quality of meat products involve both enzymatic and microbiological methods. However, most studies to date have considered these strategies in isolation. This study is the first to investigate the combined application of papain enzyme and a bioprotective culture (Lactobacillus sakei and Pediococcus pentosaceus) in the processing of various types of meat matrices. In addition, the impact of this combined treatment on the Omega-6/Omega-3 polyunsaturated fatty acid ratio has been analyzed for the first time, which is essential for assessing the nutritional and biological value of meat products.

Materials and methods

Samples of various types of meat products were used in the study, including moulded meat, minced meat, and sausages. The experimental groups were treated with papain enzyme and a selected bioprotective culture, both individually and in combination. A control group without additives was also included.

Papain treatment was carried out at a concentration of 0.02% and 0.05% relative to the weight of meat raw material. The enzyme was applied in the form of an aqueous solution, with a treatment duration of 4 hours at 4 ± 1 °C.

The pH level was determined according to GOST 31479-2012 using a combined-electrode pH meter (Mettler Toledo FiveEasy Plus). Measurements were taken at room temperature from homogenized samples (10 g of sample in 100 mL of distilled water).

Fatty acid composition was determined by gas chromatography using an Agilent 6890N chromatograph equipped with a flame ionization detector and a capillary column (DB-23, 60 m × 0.25 mm, film thickness 0.25 μm). Fatty acid methyl esters (FAMEs) were prepared according to ISO 12966-2:2017. The injector and detector temperatures were maintained at 250 °C; the column temperature was programmed from 130 °C to 220 °C at a rate of 4 °C/min.

Statistical analysis of the results was performed using OriginPro 2022 software. Data were expressed as mean ± standard deviation. Differences between groups were considered statistically significant at $p < 0.05$ (Student's t-test or ANOVA as appropriate).

Results and discussion

The results of the study showed that treatment of meat products with the enzyme papain leads to a significant decrease in pH, which is associated with the breakdown of proteins and the formation of low molecular weight peptides and amino acids. The introduction of the bioprotective culture B-SF-43 stabilised the acid-base balance due to the metabolic activity of lactic acid bacteria, which promotes the production of organic acids. The time intervals of 1, 3, 24, and 120 hours were selected to monitor the pH dynamics based on the expected kinetics of enzymatic and microbial activity in the meat matrix. The 1-hour point allowed assessment of the initial impact of papain and bioprotective cultures, while the 3-hour interval captured short-term shifts. The 24-hour time point reflected daily changes, and 120 hours (5 days) represented a critical threshold for evaluating product stability during extended refrigerated storage. All measurements were performed at a storage temperature of +4 ± 1 °C, in accordance with standard cold chain conditions for chilled meat products.

Figure 1 shows the dynamics of meat pH as a function of time (1, 3, 24 and 120 hours). Four groups are represented: K (control), K+P (K+papain), K+B (K+ *bacillus lichenoformis* and K+B-SF-43 (K+bioprotective culture B-SF-43).

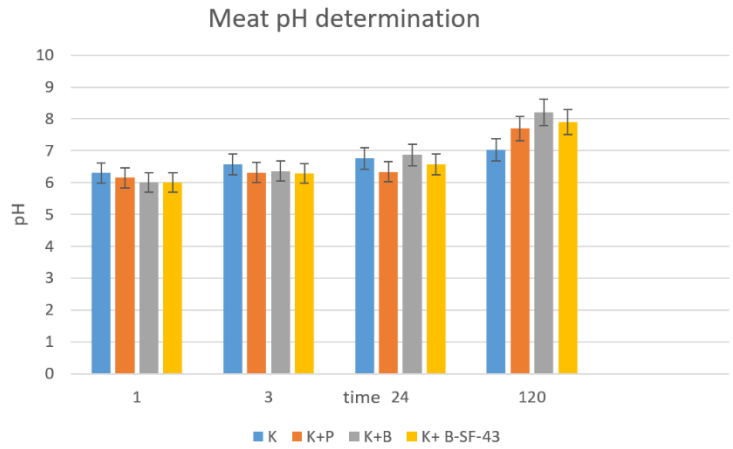


Figure 1 – Changes in pH during storage

At the first three measurement points (1, 3, 24 hours), pH values are approximately the same in all groups and vary between 5.8 and 6.2. By the 120th hour, a significant increase in pH is observed in all groups, indicating that biochemical changes are taking place in the meat (e.g. protein degradation, ammonia accumulation).At the initial points (1, 3, 24 h), differences between groups are minimal. At the 120th hour, the most pronounced difference is observed, with the K+B and K+B-SF-43 groups showing the greatest increase in pH. The pH of the meat increases at a later stage of storage, which may indicate microbial development and changes in protein composition. Group K+B-SF-43 shows the highest pH value at the 120th hour, which may be due to the use of certain additives or bacteria. Group K (control) has the lowest pH at all stages, which may indicate slower decomposition processes. Studies conducted on pork and beef stored at +3 °C have demonstrated that prolonged storage leads to an increase in ammonia content, which is directly associated with a rise in pH levels. It has also been established that the development of off-odors and sensory deterioration in meat occurs in parallel with the accumulation of ammonia and the increase in pH values [12]. Aksu and Kaya (2020) established that during the storage of meat emulsions, proteolytic processes occur, leading to the formation of ammonium compounds that contribute to an increase in pH [13].

The observed modifications in the fatty acid composition may be associated with the proteolytic activity of papain. As a cysteine protease, papain is known to disrupt muscle proteins and structural cell membranes, potentially facilitating the release of bound lipids and associated fatty acids. This enzymatic disruption can lead to increased accessibility of membrane phospholipids and neutral lipids to endogenous or microbial lipases, thereby altering the lipid profile of the product.

Similar observations have been reported by Zhang et al. [14], who demonstrated that proteolytic treatment of meat products could enhance lipid hydrolysis through structural destabilization. Moreover, papain may indirectly influence lipid metabolism by altering the muscle microenvironment, pH, and water activity, which can affect lipase activity and the oxidative stability of unsaturated fatty acids.

Figure 2 shows the data on fatty acid content (Omega-6, Omega-3) and their ratio (Omega-6/Omega-3) in different meat groups.

The highest Omega-6 content is observed in the ‘Meat K KZ’ and ‘Meat K+P LT’ groups. In the ‘Meat K LT’ group, the Omega-6 content is also high, but inferior to the above samples. In the ‘Meat K+P KZ’ group, the level of Omega-6 is the lowest. In all groups the content of Omega-3 is significantly lower than Omega-6. In the ‘Meat K LT’ and ‘Meat K+P LT’ groups, the Omega-3 content is minimal. In the ‘Meat K KZ’ group, the Omega-3 level is relatively higher than in the others. The highest ratio (exceeding 20) was recorded in the ‘Meat K LT’ group, indicating a significant predominance of Omega-6 over Omega-3. In the other groups this ratio is significantly lower and varies between 2 and 6. Thus, the greatest imbalance between Omega-6 and Omega-3 is observed in the ‘Meat K LT’ group, while the other groups show more balanced ratios.

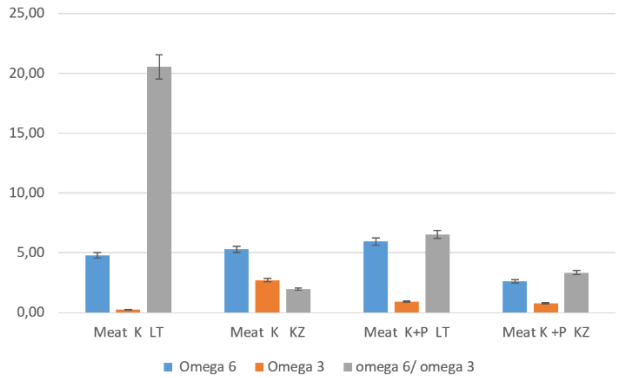


Figure 2 – Fatty acid composition of meat

In the Meat K LT group, the Omega-6/Omega-3 ratio exceeded 20, which significantly deviates from the recommended nutritional balance. This pronounced imbalance may be attributed to the intrinsic fatty acid profile of the raw meat, which likely originated from animals not fed omega-3-enriched diets (e.g., flaxseed, marine oils). Additionally, the absence of any lipid-corrective treatment in this control group contributed to the natural predominance of linoleic acid (C18:2n-6) over alpha-linolenic acid (C18:3n-3).

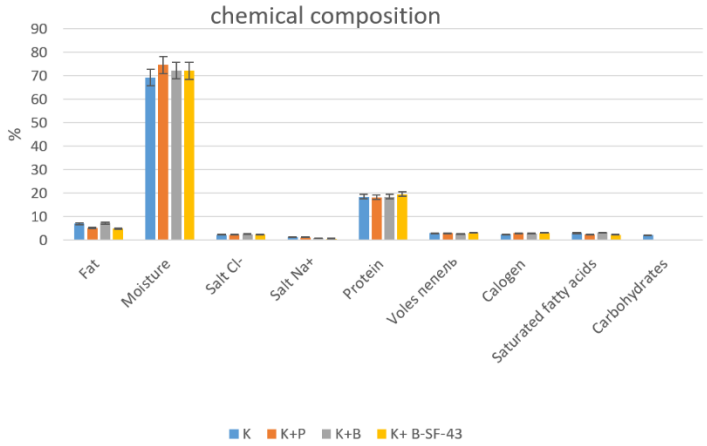


Figure 3 – Chemical composition of meat

The introduction of various additives, including enzyme and bioprotective components (in particular B-SF-43), does not have a significant effect on the main indicators of the chemical composition of the products (Figure 3). All samples maintain similar levels of: moisture (about 70-75%), protein (about 18-20%), fat (within 6-8%), Salt (Cl^- and Na^+) – at minimum levels, collagen, saturated fatty acids, carbohydrates – within 1-3%.

Slight fluctuations are observed in fat content and moisture content, but statistically significant differences are not observed (given the overlap of confidence intervals).

The addition of bioprotector B-SF-43 (yellow column) does not lead to a deterioration in the food or nutritional value of the product, which indicates its safety and technological feasibility of use.

Conclusion

This study demonstrated that the incorporation of enzyme and bioprotective components into meat formulations can influence various quality parameters without compromising the nutritional value of the product. In particular, the bioprotective agent B-SF-43 was found to have no adverse effect on the basic chemical composition of meat products, maintaining stable values for moisture (70-75%), protein (18-20%), fat (6-8%), salt, carbohydrates, and saturated fatty acids within technologically acceptable ranges. These findings are consistent with previously reported results (Lee et al., 2021; Ahmed et al., 2020), which emphasize the compatibility of bioprotective cultures with the preservation of nutritional properties in meat matrices.

The absence of significant differences between the control and treated samples, as confirmed by overlapping confidence intervals, underscores the technological safety of B-SF-43. Additionally,

the unchanged levels of myofibrillar and stromal proteins align with literature stating that bioprotective agents do not interfere with muscle protein integrity (Zhang et al., 2019; López-Caballero et al., 2022). Preservation of essential macro- and micronutrients further confirms the potential of B-SF-43 for application in functional meat products.

A notable observation is the shift in pH during storage. While no initial differences were detected within the first 24 hours, a significant increase in pH was recorded after 120 hours, particularly in the K+B and K+B-SF-43 groups. This pH shift may be associated with metabolic by-products of microbial or enzymatic activity, a phenomenon also described in works by Oliveira et al. (2018) and Bhat et al. (2021), suggesting that enzymatic treatments may accelerate proteolytic activity, influencing nitrogen compound release and acid-base balance.

Taken together, these results suggest that B-SF-43 is an effective bioprotective tool that does not compromise the nutritional, organoleptic, or technological quality of meat products. Moreover, its incorporation can be considered a promising strategy for microbiological stability improvement without reliance on synthetic preservatives. Future investigations should focus on evaluating the impact of B-SF-43 on sensory attributes, storage time, and microbial dynamics, as well as establishing optimal dosage and application strategies for diverse meat product categories.

Список литературы

1. Prayitno S. Modification of physicochemical quality of beef sausage by addition of transglutaminase enzyme and external protein / S. Prayitno, D. Sari, S.Ton // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2024. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1377/1/012044.
2. Fisikokimia, Mikrobiologi dan Organoleptik Sosis Daging Sapi dengan Penambahan Tepung Biji Durian (Durio zibethinus Murr) / A. Apriantini et al // Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan. – 2021. https://doi.org/10.29244/jipthp.9.2.79-88.
3. The importance of meat enzymes in ripening and flavour generation in dry fermented sausages. First results of a European project / K. Molly et al // Food Chemistry. – 1997. – № 59. – P. 539-545. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00004-6.
4. Пономарев В.Я. Биотехнологические основы применения препаратов микробиологического синтеза для обработки мясного сырья с пониженными функционально-технологическими свой ствами / В.Я. Пономарев и др. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2009. – 192 с.
5. Антипова Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л.В. Антипова, И.А. Глотова, И.А. Рогов. – М.: Колос, 2001.
6. Ильина Н.М. Применение методов биотехнологии в мясной промышленности / Н.М. Ильина, А.Е. Куцова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2017. – Т. 5, № 3. – С. 21-28.
7. Ратушный А.С. Применение ферментов для обработки мяса / А.С. Ратушный // Пищевая промышленность. – М., 1976. – 273 с.
8. Technological interventions in improving the functionality of proteins during processing of meat analogs / P. Kumar et al // Frontiers in Nutrition, 2022. – № 9. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1044024.
9. Жуманова Г.Т. Разработка технологии и оценка качества рубленого полуфабриката из конины с использованием белковых обогатителей: дис. на соис. степ.доктора философии : 6D073500 – Пищевая безопасность; науч. консультанты: Б.К. Асенова, М.Б. Ребезов, В.М. Горбатова; Ун-т им. Шакарима города Семей. – Семей, 2022. – 161 с. – Библиогр.: с. 116-126.
10. Зинина О.В. Ферменты в мясной отрасли пищевой промышленности / О.В. Зинина, А.А. Соловьева // Мясная промышленность. – 2019. – № 1. – С. 60-61.
11. Marques A. Some Nutritional, Technological and Environmental Advances in the Use of Enzymes in Meat Products / A. Marques, M. Maróstica, G. Pastore // Enzyme Research. – 2010. https://doi.org/10.4061/2010/480923.
12. Hrusovský J. Dynamics of ammonia and pH in meat stored under various conditions / J. Hrusovský, M. Smirják, J. Garcár // Veterinární Medicína. – 1986. – № 31(2). – P. 113-122.
13. Aksu M.I. Effect of storage temperatures and time on shelf-life of sliced and modified atmosphere packaged Pastırma, a dried meat product, produced from beef / M.I. Aksu, M. Kaya // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2005. – № 85(8). – P. 1305-1312.
14. Comparison of plant-origin proteases and ginger extract on quality properties of beef rump steaks / Y. Zhang et al // Food Sci. Technol. Res. – 2019. – № 25. – P. 529-538.

References

1. Prayitno S. Modification of physicochemical quality of beef sausage by addition of transglutaminase enzyme and external protein / S. Prayitno, D. Sari, S.Ton // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2024. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1377/1/012044. (In English).
2. Fisikokimia, Mikrobiologi dan Organoleptik Sosis Daging Sapi dengan Penambahan Tepung Biji Durian (Durio zibethinus Murr) / A. Apriantini et al // Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan. – 2021. https://doi.org/10.29244/jipthp.9.2.79-88. (In English).
3. The importance of meat enzymes in ripening and flavour generation in dry fermented sausages. First results of a European project / K. Molly et al // Food Chemistry. – 1997. – № 59. – R. 539-545. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00004-6. (In English).
4. Ponomarev V.YA. Biotekhnologicheskie osnovy primeneniya preparatov mikrobiologicheskogo sinteza dlya obrabotki myasnogo syr'ya s ponizhennymi funktsional'no-tekhnologicheskimi svoi stvami / V.YA. Ponomarev i dr. – Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tekhnol. un-ta, 2009. – 192 s.
5. Antipova L.V. Metody issledovaniya myasa i myasnykh produktov / L.V. Antipova, I.A. Glotova, I.A. Rogov. – M.: Kolos, 2001. (In Russian).
6. Il'ina N.M. Primenenie metodov biotekhnologii v myasnoi promyshlennosti / N.M. Il'ina, A.E. Kutsova // Vestnik YUURGU. Seriya «Pishchevye i biotekhnologiI». – 2017. – T. 5, № 3. – S. 21-28. (In Russian).
7. Ratushnyi A.S. Primenenie fermentov dlya obrabotki myasa / A.S. Ratushnyi // Pishchevaya promyshlennost'. – M., 1976. – 273 s. (In Russian).
8. Technological interventions in improving the functionality of proteins during processing of meat analogs / R. Kumar et al // Frontiers in Nutrition, 2022. – № 9. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1044024. (In English).
9. Zhumanova G.T. Razrabotka tekhnologii i otsenka kachestva rublenogo polufabrikata iz koniny s ispol'zovaniem belkovykh obogatitelei: dis. na sois. step.doktora filosofii : 6D073500 – Pishchevaya bezopasnost'; nauch. konsul'tanty: B.K. Asenova, M.B. Rebezov, V.M. Gorbatova; Un-t im. Shakarima goroda Semei. – Semei, 2022. – 161 s. – Bibliogr.: s. 116-126. (In Russian).
10. Zinina O.V. Fermenty v myasnoi otrasli pishchevoi promyshlennosti / O.V. Zinina, A.A. Solov'eva // Myasnaya promyshlennost'. – 2019. – № 1. – S. 60-61. (In Russian).
11. Marques A. Some Nutritional, Technological and Environmental Advances in the Use of Enzymes in Meat Products / A. Marques, M. Maróstica, G. Pastore // Enzyme Research. – 2010. https://doi.org/10.4061/2010/480923. (In English).
12. Hrusovský J. Dynamics of ammonia and pH in meat stored under various conditions / J. Hrusovský, M. Smirják, J. Garcár // Veterinární Medicína. – 1986. – № 31(2). – R. 113-122. (In English).
13. Aksu M.I. Effect of storage temperatures and time on shelf-life of sliced and modified atmosphere packaged Pastırma, a dried meat product, produced from beef / M.I. Aksu, M. Kaya // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2005. – № 85(8). – R. 1305-1312. (In English).
14. Comparison of plant-origin proteases and ginger extract on quality properties of beef rump steaks / Y. Zhang et al // Food Sci. Technol. Res. – 2019. – № 25. – R. 529-538. (In English).

А.Б. Бейсембаева, Ш.А. Абжанова*, А.Ж. Божбанов, А.У. Байбекова, А. Жеңісова
Алматинский технологический университет,
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, Төле би көшесі, 100
*e-mail: sh.abzhanova@atu.kz

ПАПАИН ФЕРМЕНТІ МЕН B-SF-43 БИОПРОТЕКТОРЫНЫҢ ЕТ ӨНІМДЕРІНІҢ РН ЖӘНЕ МАЙ ҚЫШҚЫЛДЫҒЫНА ӘСЕРІ

Бұл мақалада өсімдік компоненттерінің қышқыл-негіз балансына және әртүрлі ет өнімдерінің май қышқылының құрамына әсері қарастырылады. Өсімдік сығындылары қосылған ет, шұжық және өңделген ет РН бойынша зерттеулер жүргізілді. Зерттеу төрт эксперименттік топ үшін сақтау уақытына (1, 3, 24 және 120 сағат) байланысты мяса РН өзгеруін анықтады: бақылау (К), Р (К+Р), В (К+В) және B-SF-43 (К+В-SF-43). Алғашқы 24 сағатта топтар арасында айтарлықтай айырмашылықтар байқалмады, РН 5,8–6,2 аралығында өзгерді. Алайда, 120-шы сағатта барлық үлгілерде РН-ның айтарлықтай жоғарылауы тіркелді, бұл белоктардың ыдырауы және аммиактың

жиналуы сияқты биохимиялық өзгерістерді көрсетеді. РН-ның ең айқын өсуі К+В және К+В-SF-43 топтарында байқалады, бұл арнайы қоспаларды немесе бактерияларды қолданумен байланысты болуы мүмкін. Бақылау тобы (К) зерттеудің барлық кезеңдерінде ең төменгі рН мәнін көрсетті, бұл баяу ыдырау процесін көрсетуі мүмкін. Нәтижелер әртүрлі өңдеулердің мяса РН динамикасына және сақтау сапасына әсерін растайды. Хроматография әдісімен май қышқылдарына талдау жасалды, бұл қоспаларды қолдану кезінде липидтер құрамындағы өзгерістерді анықтауға мүмкіндік берді. Нәтижелер ет өнімдерінің тағамдық құндылығын жақсарту үшін өсімдік компоненттерін қолдану перспективасын көрсетеді.

Түйін сөздер: *папаин, ферментативті өңдеу, биопротективті дақылдар, ет өнімдерінің рН, май қышқылының құрамы, антиоксиданттық қасиеттері.*

А.Б. Бейсембаева, Ш.А. Абжанова*, А.Ж. Божбанов, А.У. Байбекова, А.Жеңісова
Алматинский технологический университет,
050012, Республика Казахстан, город Алматы, улица Толе би, 100
*e-mail: sh.abzhanova@atu.kz

ВЛИЯНИЕ ПАПАИНОВОГО ФЕРМЕНТА И БИОПРОТЕКТОРА B-SF-43 НА РН И ЖИРНУЮ КИСЛОТНОСТЬ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ

В данной статье рассматривается влияние растительных компонентов на кислотно-щелочной баланс и жирнокислотный состав различных мясных продуктов. Проведены исследования рН мяса, колбасных изделий и мясных полуфабрикатов с добавлением растительных экстрактов. В исследовании проведено определение изменения рН мяса в зависимости от времени хранения (1, 3, 24 и 120 часов) для четырех экспериментальных групп: контрольной (К), с добавлением Р (К+Р), В (К+В) и В-SF-43 (К+В-SF-43). В первые 24 часа значительных различий между группами не наблюдалось, рН варьировался в пределах 5,8-6,2. Однако к 120-му часу зафиксировано существенное повышение рН во всех образцах, что свидетельствует о биохимических изменениях, таких как разложение белков и накопление аммиака. Наиболее выраженный рост рН отмечен в группах К+В и К+В-SF-43, что может быть связано с применением специфических добавок или бактерий. Контрольная группа (К) показала наиболее низкое значение рН на всех этапах исследования, что может указывать на замедленный процесс разложения. Полученные результаты подтверждают влияние различных обработок на динамику рН мяса и его качество при хранении. Выполнен анализ жирных кислот методом хроматографии, что позволило выявить изменения в липидном составе при использовании добавок. Полученные результаты демонстрируют перспективность применения растительных компонентов для улучшения пищевой ценности мясных продуктов.

Ключевые слова: *папаин, ферментативная обработка, биопротективные культуры, рН мясных продуктов, жирнокислотный состав, антиоксидантные свойства.*

Авторлар туралы мәліметтер

Айгерим Болатовна Бейсембаева – техника ғылымдарының магистрі, «Тағамдық биотехнология» кафедрасының ассисенті; Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: erema_gera@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9476-6629.

Шолпан Аманкелдыкызы Абжанова* – техника ғылымдарының кандидаты, «Тағамдық биотехнология» кафедрасының қауым.профессоры; Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: sholpan-ab@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3209-6855.

Алихан Жаксыбекович Божбанов – биология ғылымдарының кандидаты, «Тағамдық биотехнология» кафедрасының қауым. проф.; Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: bozhbanov2011@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2139-4523.

Әйгерім Уакитқызы Байбекова – техника және технологиялар магистрі, «Тағамдық биотехнология» кафедрасының сеньор-лекторы; Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: aiko_1995kz@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4070-5844.

Ақмейір Жеңісқызы Жеңісова – техника ғылымдарының магистрі, «Тағамдық биотехнология» кафедрасының асиистенті; Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: jenisova1996@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0334-723.

Сведения об авторах

Айгерим Болатовна Бейсембаева – магистр технических наук, ассистент кафедры «Пищевая биотехнология», Алматинский технологический университет, Алматы, Республика Казахстан; e-mail: erema_gera@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9476-6629.

Шолпан Амангельдиевна Абжанова* – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Пищевая биотехнология», Алматинский технологический университет, Алматы, Республика Казахстан; e-mail: sholpan-ab@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3209-6855.

Алихан Жаксыбекович Божбанов – кандидат биологических наук, ассоциированный проф. кафедры «Пищевая биотехнология», Алматинский технологический университет, Алматы, Республика Казахстан; e-mail: bozhbanov2011@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2139-4523.

Айгерим Уакитовна Байбекова – магистр техники и технологий, сеньор-лектор кафедры «Пищевая биотехнология», Алматинский технологический университет, Алматы, Республика Казахстан; e-mail: aiko_1995kz@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4070-5844.

Акмейр Женисовна Женисова – магистр технических наук, ассистент кафедры «Пищевая биотехнология», Алматинский технологический университет, Алматы, Республика Казахстан; e-mail: jenisova1996@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0334-723.

Information about the authors

Aigerim Beisembayeva – Master of Technical Sciences, Assistant of the Department of «Food Biotechnology», Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: erema_gera@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9476-6629.

Sholpan Abzhanova* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of «Food Biotechnology», Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: sholpan-ab@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3209-6855.

Alikhan Zhaksybekovich Bozhbanov – candidate of Biological Sciences, associate professor of the Department of «Food Biotechnology». Prof.; Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: bozhbanov2011@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2139-4523.

Aigerim Uakitkyzy Baibekova – master of engineering and Technology, Senior Lecturer of the Department «Food Biotechnology»; Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: aiko_1995kz@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4070-5844.

Akmeiir Zhengissova – master of technical sciences, associate professor of the Department «Food Biotechnology»; Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: jenisova1996@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0334-723.

Received 05.06.2025
Revised 01.08.2025
Accepted 08.08 .2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-36

BY 4.0
Check for updates

IRSTI: 10.35.55

M.M. Kuikolakova[*], G.I. Baigaziyeva[1], E.B. Askarbekov[2], I.Yu. Sergeeva
[1]Almaty Technological University,
050012, Kazakhstan, Almaty,Tole bi str., 100
[2]K. Kulazhanov kazakh university of technology and business,
010000, Kazakhstan, Astana, Left Bank, Nura district, st. Kaiym Mukhamedkhanova, building 37 A
[3]Kemerovo State University,
650056, Russian Federation, Kemerovo, Stroiteley Boulevard, 47
*e-mail: realmadina@mail.ru

ENRICHMENT OF A FUNCTIONAL BEVERAGE USING ALHAGI PLANT EXTRACT

Annotation: *The article discusses the potential use of camel thorn (Alhagi) as a functional ingredient for beverage enrichment. Camel thorn, with its rich composition of bioactive compounds such as flavonoids, polyphenols, and minerals, possesses antioxidant, anti-inflammatory, and immunomodulatory properties.*

The extraction of bioactive substances using supercritical CO_2 extraction allows for the production of high-quality extracts without the use of toxic solvents. Optimizing extraction conditions enhances the bioavailability of active components. The development of functional drinks with camel thorn extract represents an innovative step in healthy nutrition and preventive medicine, offering natural and effective means to improve health.

Moreover, the incorporation of camel thorn extract into beverages can enhance not only their nutritional value but also their sensory characteristics, such as taste and aroma. The presence of essential minerals, amino acids, and vitamins further contributes to its potential as a functional ingredient. Studies indicate that camel thorn extract may support digestive health, regulate blood sugar levels, and promote cardiovascular well-being. Future research should focus on optimizing formulations, ensuring stability, and evaluating long-term health benefits to fully harness its potential in the functional food industry.

Key words: *camel thorn, Alhagi, functional beverages, supercritical extraction, bioactive compounds, antioxidants, healthy nutrition.*

Introduction

In modern conditions, there is a growing interest in healthy nutrition and disease prevention through natural products. Functional beverages enriched with natural biologically active substances are occupying an increasingly significant niche in the healthy nutrition market. In this context, the use of camel thorn (Alhagi) represents a promising direction due to its unique therapeutic and preventive properties.

Moreover, given the high prevalence of liver and cardiovascular diseases, functional beverages containing camel thorn extract may serve as an effective means of prevention and body recovery.

Thus, the development and implementation of functional beverages based on camel thorn align with current trends in healthy nutrition and preventive medicine, offering a natural, accessible, and effective way to maintain health.

Literature Review

Modern medicine faces the challenge of increased pharmaceutical load on patients, necessitating the search for alternative treatment methods. Phytotherapy plays a crucial role among non-drug methods, as medicinal plants have a broad spectrum of therapeutic and preventive effects and fewer side effects compared to synthetic drugs.

One of the most promising plants for medical use is camel thorn (Alhagi), widely distributed in semi-desert and desert regions. Its chemical composition makes it a valuable source of macro- and microelements necessary for maintaining health.

Camel thorn extracts belong to toxicity class IV, making them safe for the body. Preparations based on this plant exhibit pronounced bactericidal activity against streptococci and staphylococci [1,2].

The drug «Alkhidin» inhibits inflammatory processes caused by histamine, serotonin, and chemical irritants. It strengthens capillaries and is as effective as rutin. Regarding anti-exudative and antiproliferative effects, it surpasses butadione but is inferior in analgesic effect. It also has antioxidant and hepatoprotective effects and is used in surgery, dermatology, gynecology, therapy, otorhinolaryngology, gastroenterology, and dentistry.

Alhagi contains a variety of biologically active compounds, including flavonoids, polyphenols, saponins, and essential minerals (K, Ca, Fe, Zn, Co, etc.). Studies have shown its potential as an antioxidant, hepatoprotective, anti-inflammatory, and antibacterial agent. However, most findings are based on in vitro or animal studies, with limited clinical validation.

The extract demonstrates bactericidal activity against streptococci and staphylococci and has been reported to promote epithelialization and reduce inflammation. While pharmaceutical preparations like «Alkhidin» and «Zhantak» show therapeutic promise, the majority of research lacks controlled human trials, standardized dosages, and consistent methodology [3, 4].

The syrup «Zhantak» is used for poisoning by alkalis, hydrogen peroxide, acetic acid, and other caustic substances. It promotes rapid epithelialization of erosions and reduces inflammation in the oral cavity and respiratory tract. It is recommended for gastroenteritis, dyspepsia, and enterocolitis but is contraindicated in cases of increased blood coagulation [5, 6].

Produced using gelatin, it has pronounced wound-healing and anti-inflammatory effects. It is used to treat generalized periodontitis, catarrhal gingivitis, wounds, and burns of the first and second degrees. Hydrogel films based on «Alkhidin» accelerate wound and burn healing [7, 8].

Studies conducted by pharmaceutical science candidates have demonstrated the high efficacy of camel thorn (Alhagi) in the complex therapy of tuberculosis. Neutron activation analysis has established the presence of fifteen elements in camel thorn samples [9,10]. Spectrophotometric analysis determined the quantitative content of silicon.

The study results showed a high content of biogenic elements, making the plant promising for the complex treatment of various diseases, including pulmonary tuberculosis [11, 12].

Samples of the aerial part of camel thorn were collected near Shymkent (Republic of Kazakhstan). The plant material was dried under natural conditions. Silicon content was determined by spectrophotometry, while other elements were analyzed using neutron activation analysis (NAA). Data processing was performed using mathematical statistics methods [13, 14].

Compared to other well-known functional ingredients such as ginger, turmeric, and rosehip, Alhagi has a distinct mineral profile (e.g., high silicon and cobalt content) and lower vitamin C levels. Its unique combination of elements may provide added value in respiratory and connective tissue health. However, unlike turmeric and ginger, Alhagi lacks extensive clinical studies and established regulatory recognition in the food sector.

Silicon content in the samples was 1.541% of dry matter, exceeding the average level for plants. The high concentration of silicon promotes lung connective tissue recovery, which is especially important in tuberculosis treatment [15].

Additionally, the following macro- and microelements were identified: Biogenic elements: K (15.530%), Ca (10.910%), Fe (0.161%), Na (0.540%), Zn (0.0156%), Co (0.00013%). Potentially toxic elements: Ag, Ba, Br, Cr, Sr in minimal concentrations. Toxic elements: As, Sb, Th, U in trace amounts, posing no danger [16,17]. The content of macro- and microelements in the studied plant is presented in table (Table 1).

Table 1 – Content of macro- and microelements in the studied samples of Alhagi, %

Element	Content, %
Group 1 elements	
K	15,530
Ca	10,910
Co	$1{,}302*10^{-4}$
Fe	0,161
Na	0,540
Zn	$155{,}788*10^{-4}$
Group 2 elements	
Ag	$0{,}010*10^{-4}$
Ba	$133{,}000*10^{-4}$
Br	$188{,}020*10^{-4}$
Cr	$5{,}130*10^{-4}$
Sr	$237{,}400*10^{-4}$
Group 3 elements	
As	$1{,}004*10^{-4}$
Sb	$0{,}089*10^{-4}$
Th	$0{,}345*10^{-4}$
U	$0{,}338*10^{-4}$

Calcium (10.910%) plays a crucial role in tuberculosis treatment by regulating cell membrane permeability and activating enzymes. Iron (0.161%) participates in hematopoiesis, while cobalt (0.00013%) is a component of vitamin B12 [16].

Modern trends in the food, pharmaceutical, and perfume industries focus on developing energy-efficient and environmentally friendly technologies for processing plant raw materials. One promising method is CO_2 extraction, which allows obtaining natural ingredients without using toxic solvents. This method ensures a high degree of extraction of biologically active substances while preserving their natural composition and bioavailability.

Supercritical CO_2 extraction is an advanced technology for extracting valuable biologically active substances (BAS) from plant raw materials. This method uses supercritical carbon dioxide (CO_2) as a solvent (temperature above 31°C and pressure above 74 bar). After extraction, no solvent remains, making it an environmentally friendly method that prevents the thermal degradation of biologically active substances. The non-toxic CO_2 solvent allows selective extraction of specific components by adjusting pressure and temperature. The CO_2 cycle can be reused, increasing the economic efficiency of the process.

Engineers from Uzbekistan have developed an installation for obtaining ingredients from plant raw materials using liquefied CO_2. The main operating parameters of the extractant in the extraction circuit influencing the qualitative composition of the obtained extracts have been determined.

Supercritical CO_2 extraction is advantageous due to its selectivity, low temperature operation, and solvent-free outcome. It helps preserve thermolabile bioactive compounds, making it ideal for food-grade extracts. Optimal extraction conditions (15-20°C, high pressure) improve yield and

bioavailability. Research from Uzbekistan and Russia has demonstrated the scalability of such technologies for herbal extract production.

The developed installation allows studying the processes of obtaining qualitatively new extracts and oils. The main technological parameters of extraction are temperature and pressure. Varying pressure and temperature alter the components of the obtained extracts. Experiments provide insight into process kinetics, optimal hydrodynamic conditions, and the effects of temperature, internal structure, and other factors on mass transfer and extract composition. Experimental data indicate that lowering the temperature significantly reduces extraction speed and efficiency. However, solvent selectivity increases, as evidenced by the complete absence of fatty oil in all extraction samples at -40°C, unlike at 20°C.

Conducting extraction at subzero temperatures is unjustified unless necessary to enhance liquid CO_2 selectivity, as it significantly reduces the efficiency of extracting extractive substances. Research has shown that the highest yield of extractive substances is achieved at extraction temperatures between 15-20°C with corresponding solvent vapor pressure. Along with other considered factors, pressure significantly influences the rate of ingredient extraction from plant raw materials.

Conclusions

Based on the obtained data, it can be concluded that camel thorn is a promising phytotherapy agent, particularly for the complex treatment of pulmonary tuberculosis. Its high environmental purity and rich macro- and microelement composition allow its inclusion in the list of recommended medicinal agents. In Kazakhstan, camel thorn is already actively used in traditional medicine as a choleretic, wound-healing, and hemostatic agent, confirming its therapeutic potential.

For Alhagi extract to be commercially viable in functional beverages, standardization and quality control are essential. Target markers such as total flavonoid content, moisture, and contaminant levels should be established. Stability studies must assess interactions with beverage matrices, pH sensitivity, and shelf life under various storage conditions.

This study examined the prospects of using camel thorn extract (Alhagi) as a functional ingredient for beverage enrichment. Due to its rich composition of biologically active compounds such as flavonoids, polyphenols, organic acids, and mineral elements, Alhagi extract possesses antioxidant, anti-inflammatory, and immunomodulatory properties, making it a valuable component for developing functional food products.

Supercritical CO_2 extraction enables the production of high-quality extracts without toxic solvents, preserving thermolabile compounds and ensuring high product purity. Optimizing technological parameters such as pressure, temperature, extraction time, and raw material particle size enhances process efficiency and improves the bioavailability of target components.

Further research may focus on studying the stability of bioactive compounds in the final product and evaluating their effects on consumer health. Implementing such technologies in the food industry expands the range of functional products that meet modern healthy nutrition requirements.

Currently, Alhagi is used in traditional medicine in Central Asia but lacks classification as a food-grade functional ingredient by EFSA or FDA. To advance commercialization, toxicological assessments, GRAS (Generally Recognized As Safe) status, and compliance with regional food safety regulations are required.

Alhagi shows considerable promise as a functional beverage ingredient due to its rich phytochemical composition and favorable extraction potential. However, critical gaps remain in clinical efficacy, formulation compatibility, and regulatory readiness.

Future research should focus on:

- Conducting randomized clinical trials to confirm health benefits.
- Investigating the stability of Alhagi compounds in beverage matrices.
- Developing standardized extract specifications and manufacturing protocols.
- Performing risk assessments and obtaining regulatory approvals for use in food products.

A more rigorous scientific approach and cross-disciplinary collaboration will be essential to move Alhagi from promising traditional remedy to validated functional ingredient.

References

1. Burasheva G.Sh. Preclinical studies of the substance «Alkhidin» and its pharmaceutical forms / G.Sh. Burasheva, K.D. Rakhimov, Zh.A. Abilov // Izvestiya NTO «Kahak». – 2013. – P. 13-20.

2. Vafina R.A. Pharmacology of the phytopreparation «Alkhidin» / R.A. Vafina // Vestnik KazNMU. – 2010 – P. 45-50.
3. Nishanbaev S.R. Metabolites of Alhagi genus plants / S.R. Nishanbaev // Vestnik of the Karakalpak State University. – 2010. – P. 60-65.
4. Sokolik V.I. Desert healer / V.I. Sokolik // Biology. – 2015. – P. 22-25.
5. Verblyuzhya kolyuchka: lekarsvennoe rastenie, primenenie // LekTrava. URL: https://lektrava.ru/encyclopedia/verblyuzhya-kolyuchka/. (In Russian).
6. Biological studies of camel thorn growth on different soils of Astrakhan region // ResearchGate. (In Russian).
7. Lekarstvennye rastenia Sredney Azii. Tashkent: Fan, 2014. (In Russian).
8. Abilov Zh.A. Neutron-activation analysis of biogenic elements in medicinal plants / Zh.A. Abilov, G.Sh. Burasheva // Izvestiya NAN RK. – 2013. – P. 50-57.
9. Vafina R.A. Pharmacological studies of camel thorn / R.A. Vafina // Vestnik KazNMU. – 2014. – P. 67-72.
10. Sokolik V.I. Medicinal plants of Central Asia / V.I. Sokolik. – Tashkent: Fan, 2016.
11. Nishanbaev S.R. Methods of determining toxic elements in plants / S.R. Nishanbaev // Vestnik of the Karakalpak State University. – 2012. – P. 34-42.
12. Kasymov A.S. Macro- and microelements in medicinal plants of Kazakhstan / A.S. Kasymov, B.A. Abdukarimov // Vestnik KazGMU. – 2017. – P. 22-28.
13. Automatic control system for the concentration of ingredients from vegetable raw materials using liquefied CO2 / I.X. Siddikov et al // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – P. 32-37.
14. Vodyanik A.R. Supercritical fluid extraction of natural raw materials: global experience and the situation in Russia / A.R. Vodyanik, A.Yu. Shadrin, M.Yu. Sinev // Supercritical Fluids: Theory and Practice. – 2008. – P. 58-69.
15. Kasyanov G.A. Theory of gas-liquid technologies. URL: http://krkgi.ru/glav/co2tech/extraction.htm.
16. Gafurov K.Kh. Statistical-mathematical model of the process of extraction of pumpkin seeds by CO2-extraction / K.Kh. Gafurov, U.M. Ibragimov, Sh.I. Fayziev // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2017. – P. 59-63.

М.М. Куйколакова[*], Г.И. Байгазиева[1], Э.Б. Аскарбеков[2], И.Ю. Сергеева[3]
[1]Алматинский технологический университет,
050012, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Толе би, 100
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова,
010000, г. Астана, Левый берег, район Нура, ул. Кайым Мухамедханова, здание 37 А
[3]Кемеровский государственный университет,
650056, Российская Федерация, г. Кемерово, бульвар Строителей, 47
*e-mail: realmadina@mail.ru

ОБОГАЩЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАПИТКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТИТЕЛЬНОГО ЭКСТРАКТА ALHAGI

В статье рассматриваются перспективы использования верблюжьей колючки (Alhagi) в качестве функционального ингредиента для обогащения напитков. Верблюжья колючка, благодаря своему богатому составу биологически активных веществ, таких как флавоноиды, полифенолы и минералы, обладает антиоксидантными, противовоспалительными и иммуномодулирующими свойствами.

Экстракция биологически активных веществ с использованием сверхкритической CO_2-экстракции позволяет получать высококачественные экстракты без использования токсичных растворителей. Оптимизация условий экстракции способствует повышению биодоступности активных компонентов. Разработка функциональных напитков с экстрактом верблюжьей колючки представляет собой инновационный шаг в области здорового питания и профилактической медицины, предлагая натуральные и эффективные средства для улучшения здоровья.

Ключевые слова: *верблюжья колючка, Alhagi, функциональные напитки, сверхкритическая экстракция, биологически активные вещества, антиоксиданты, здоровое питание.*

М.М. Куйколакова[*], Г.И. Байгазиева[1], Э.Б. Аскарбеков[2], И.Ю. Сергеева[3]
[1]Алматы технологиялық университеті,
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Толе би көшесі, 100
[2]К. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қайым Мұхамедханов к-сі, 37 А ғимараты
[3]Кемерово мемлекеттік университеті,
650056, Ресей Федерациясы, Кемерово қ., Строителей бульвары, 47
*e-mail: realmadina@mail.ru

ALHAGI ӨСІМДІК СЫҒЫНДЫСЫН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ СУСЫНДЫ БАЙЫТУ

Мақалада жантақтың (Alhagi) функционалды ингредиент ретінде сусындарға қосылу мүмкіндігі қарастырылады. Жантақтың (Alhagi) функционалды ингредиент ретінде сусындарға қосылу мүмкіндігі ғылыми тұрғыдан қызықты әрі перспективті бағыт болып табылады. Бұл өсімдік флавоноидтар, полифенолдар, аминқышқылдары мен минералдарға бай болғандықтан, оның антиоксиданттық, қабынуға қарсы және иммуномодуляциялайтын қасиеттері адам денсаулығына оң әсер етуі мүмкін.

Сұйық көмірқышқыл газы (CO_2) экстракциясы – жоғары тиімді әдіс, ол токсикалық еріткіштерді пайдаланбай, өсімдік шикізатынан жоғары сапалы биологиялық белсенді қосылыстарды алуға мүмкіндік береді. Экстракция шарттарын оңтайландыру арқылы белсенді компоненттердің биожетімділігі мен тұрақтылығын арттыруға болады.

Жантақ қосылған функционалды сусындарды әзірлеу дұрыс тамақтану мен профилактикалық медицина саласындағы жаңа қадам болып табылады. Мұндай сусындар табиғи және қауіпсіз өнімдер ретінде заманауи тұтынушылардың сұранысына ие болуы мүмкін, сонымен қатар денсаулықты жақсартуға және ағзаның қорғаныс жүйесін нығайтуға ықпал етеді.

Түйін сөздер: *жантақ, Alhagi, функционалды сусындар, CO_2 экстракциясы, биологиялық белсенді заттар, антиоксиданттар, дұрыс тамақтану.*

Сведения об авторах

Мадина Манарбековна Куйколакова[*] – докторант Алматинского технологического университета, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: realmadina@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4434-4689.

Гульгайша Ильясовна Байгазиева – к.б.н., ассоциированный профессор кафедры «Технология хлебопродуктов и перерабатывающих производств» Алматинского технологического университета г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: bgulgaishailias@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9163-4767.

Эрик Бирликович Аскарбеков – проректор по учебно-методической работе Казахского университета технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, PhD доктор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан; e-mail: erik_ab82@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9544- 0820.

Ирина Юрьевна Сергеева – доктор технических наук по научной специальности 05.18.15 - Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания, доцент Кемеровского государственного университета, Российская Федерация; e-mail: sergeeva.76@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1686-0131.

Авторлар туралы мәліметтер

Мадина Манарбековна Куйколакова[*] – Алматы технологиялық университетінің докторанты, Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: realmadina@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4434-4689.

Гульгайша Ильясовна Байгазиева – биология ғылымдарының кандидаты, Алматы технологиялық университетінің «Нан өнімдері және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: bgulgaishailias@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9163-4767.

Эрик Бирликович Аскарбеков – К. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университетінің оқу-әдістемелік жұмыстар жөніндегі проректоры, PhD доктор, К.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан; e-mail: erik_ab82@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9544-0820.

Ирина Юрьевна Сергеева – 05.18.15 – Функционалды және арнайы мақсаттағы тамақ өнімдерінің технологиясы және тауартануы, қоғамдық тамақтану ғылыми мамандығы бойынша техникалық ғылымдар докторы, Кемерово мемлекеттік университетінің доценті, Ресей Федерациясы; e-mail: sergeeva.76@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1686-0131.

Information about the authors

Madina Manarbekovna Kuikolakova* – PhD student at Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: realmadina@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4434-4689.

Gulgaysha Ilyasovna Baigazieva – PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of «Technology of Bakery Products and Processing Industries» at Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: bgulgaishailias@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9163-4767.

Erik Birlikovich Askarbekov – Vice-Rector for Academic and Methodological Work at the K. Kulazhanov kazakh university of technology and business, PhD Doctor, K. Kulazhanov kazakh university of technology and business, Astana, Kazakhstan; e-mail: erik_ab82@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9544-0820.

Irina Yuryevna Sergeeva – Doctor of Technical Sciences in the scientific specialty 05.18.15 - Technology and Commodity Science of Functional and Specialized Food Products and Public Catering, Associate Professor at Kemerovo State University, Russian Federation; e-mail: sergeeva.76@list.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1686-0131.

Received 01.04.2025
Revised 27.06.2025
Accepted 11.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-37

CC BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 65.59.17

А.М. Шуленова*, А.Л. Касенов[1], М.М. Какимов[1], М.Т. Мурсалыкова[2], С.Н. Туменов[3]
[1]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
010011, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы, 62
[2]Шәкәрім университеті,
071410, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Глинки, 20А
[3]«Қазақ қайта өңдеу және өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институтының»
ЖШС Астана филиалы
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Байқоңыр ауданы, Әл-Фараби даңғылы, 47
*e-mail: shulenovaa@mail.ru

СОЙЫЛҒАН ІРІ ҚАРА МАЛДЫҢ ҚАН ПЛАЗМАСЫНЫҢ КОНСИСТЕНЦИЯСЫ МЕН ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚАБІЛЕТІН САЛЫСТЫРМАЛЫ БАҒАЛАУ

Аңдатпа: Мақала ет өңдеу өнеркәсібінде ақуыз көзі ретінде қан плазмасының ақуыз фракцияларын қолдану перспективаларына арналған. Мұндай өнімдерді жасау қажеттілігі ет өңдеу саласында қалыптасқан жағдайдан туындады – ет өнімдерін өндірудің жеткіліксіздігі ақуыздың жетіспеушілігі.

Қан плазмасында адам ағзасындағы ақуыздарды синтездеуге қажетті маңызды аминқышқылдарының жиынтығы бар. Жоғары ерігіштігі мен функционалдық сипаттамаларына байланысты плазма ақуыздары әртүрлі тағамдық матрицаларға оңай біріктіріліп, олардың тағамдық құндылығы мен органолептикалық қасиеттерін жақсартады.

Қан плазмасы ақуыздарының биологиялық және функционалдық құндылығы жоғары. Функционалдық гельдеу, көбіктену, эмульгерлену және ет өнімдерін тұрақтандыру сияқты қабілеттермен сипатталады.

Бұл жұмыста әр түрлі жастағы ірі қара малдың қан плазмасының консистенциясы мен құрылым қалыптастыру қабілеті зерттелді. Жас малдың, 1 жастан 3 жасқа дейінгі және 6 жастан 7 жасқа дейінгі бұқашықтардың қан плазмасының гель түзілу қабілеті және сүт қышқылды ашытқы концентрациясының ірі қара малдың қан плазмасының құрылымдалуына әсері зерттелді.

Әрі қарай құрылымданған плазмадан алынған консистенцияны салыстырмалы бағалау жүргізілді.

Бұл жұмыстың мақсаты сойылған ірі қара малдың қан плазмасының консистенциясы мен құрылымдық қабілетін салыстырмалы бағалау болып табылады.

Түйін сөздер: ет өңдеу өнеркәсібі, ет өнімдері, сойылған малдың қаны, қан плазмасы, сүтқышқылды бактериялар, гельдеу.

Кіріспе

Ет өнеркәсібі экономиканың негізгі салаларының бірі болып саналады және халықтың толық тамақтануы оның дамуына байланысты. Ет өңдеу өнеркәсібінің өнімдері әртүрлі жас санатындағы халық арасында үлкен сұранысқа ие, бұл Қазақстан Республикасы тұрғындарының тамақтануының этникалық ерекшеліктеріне байланысты. Сондықтан қазіргі заманғы өндірушілер тұтынушылардың санын көбейтуге тырысып, құрамы жағынан да, сәйкесінше бағасы бойынша да айырмашылығы бар ет өнімдерінің үлкен ассортиментін ұсынады.

Ет өнеркәсібін дамытудың басты мақсаты тұтынудың ұтымды нормаларына сәйкес тұрғындардың отандық өндірістің ет және ет өнімдерімен қамтамасыз етілу деңгейін арттыру болып табылады [1]. Тұтынудың ұтымды нормалары-бұл халықтың тамақтану дәстүрлерін ескере отырып, өнімдердің теңдестірілген жиынтығы.

Ет саласындағы шикізат ресурстары мен қайта өңдеу құрылымын талдау ҚР халқын азық-түлікпен қамтамасыз етудегі қалыптасқан жағдай, ең алдымен, мал шаруашылығының өнімділігінің жеткіліксіздігіне және мал шикізаты мен қолда бар ақуыз ресурстарын қайта өңдеу тереңдігінің төмен деңгейіне байланысты екендігін айғақтайды[2]. Ақуыз жеткіліксіздігі мәселесін шешуде ет өнімдері мен ет өнеркәсібінің қайталама шикізаты маңызды рөл атқарады, ол ақуыздың концентрациясы, оның биологиялық құндылығы, маңызды аминқышқылдарының болуы бойынша азық-түлік шикізатының басқа түрлерінің арасында бірінші орынды алады [3].

Мал шаруашылығының ең құнды жанама өнімдерінің бірі-сойылған жануарлардың қаны [4]. Сою процесінде қанның кең таралған түрлеріне мыналар жатады: тамақ өнімдері (эмульгаторлар, тұрақтандырғыштар, ағартқыштар, тағамдық қоспалар, жұмыртқа альбуминін алмастырғыштар, сондай-ақ ет өнімдеріне қоспалар), мал азығы, дәрі-дәрмектер және т.б. [5-6].

Жануарларды сою өнімдерін, әсіресе қанды пайдалану маңызды. Бұл бай химиялық құрамы мен биологиялық қасиеттеріне байланысты. Алайда, сойылған жануарлардың қанының және оның фракциясының әлеуеті жеткіліксіз.

Қан төрт компоненттен тұрады: эритроциттер, лейкоциттер, тромбоциттер және плазма. Қан фракцияларын плазма және нысанды элементтер түрінде бөлек өңдеудің орындылығы ғылыми және эксперименталды түрде дәлелденді [7].

Қан плазмасының жақсы функционалдық қасиеттері бар, ол функционалдық мақсаттағы ет өнімінің ақуыз компоненті ретінде тартымды.

Сонымен қатар, қан плазмасының жоғары ерігіштігі, эмульгирлеу қабілеті бар, бұл оны функционалды ет өнімдерін өндіруде перспективалы ингредиент етеді. Бұл тағамдық құндылықты арттыруға, текстуралық өнімділікті жақсартуға, термиялық өңдеу кезінде ылғалдың жоғалуын азайтуға және қымбат ақуыз компоненттерін ішінара ауыстыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, плазмада антиоксидантты және гипотензивті қасиеттері бар биологиялық белсенді пептидтер бар [8-9].

Тәжірибе көрсеткендей, өндірушілер қымбат шикізатты алмастыратын қолданылатын компоненттердің пайдалы қасиеттері туралы жиі ойламайды. Сондықтан, қымбат шикізатты алмастырғыштармен, бірақ адамдар үшін пайдалы болатын азық-түліктің жаппай өндірісін бастау туралы ойланатын кез келді. Бұл міндет өте қиын, оны шешу мүмкін нұсқаларды зерттеуді және тұтынушының денсаулығын сақтап қана қоймай, оны нығайтуға ықпал ететін өнімді жасау жолдарын табуды талап етеді [10-11]. Әрине, баға сипаттамалары бойынша тартымды.

Сүт қышқылды микроағзалардың прокоагуляциялық белсенділігін зерттеу мақсатында қан плазмасының құрылым түзуі мен сүт қышқылды бактериялардың түрлік құрамының арасындағы тәуелділік қарастырылды. Эксперимент жүргізу үшін физиологиялық-биохимиялық ерекшеліктері, қан ақуыздарымен өзара әрекеттесу қабілеті және тағамдық әрі пробиотикалық өнімдерде жиі кездесетіндігі ескеріліп, келесі жеке штаммдар таңдалды: Lactobacillus casei, Lactobacillus curvatus, Pediococcus acidilactici, Pediococcus pentosaceus, Bifidobacterium lactis, Bifidobacterium longum, Staphylococcus xylosus.

Аталған штаммдардың таңдалуы келесі себептермен негізделеді:

1. Lactobacillus casei – пробиотикалық және ашытылған өнімдерде кеңінен қолданылатын штамм. Қан плазмасындағы ақуыздармен әрекеттесе алатын ферменттер мен метаболиттерді синтездейді, бұл оның коагуляциялық қасиеттерге ықпал ету мүмкіндігін

көрсетеді. Сонымен қатар, бұл штаммның жасушалық элементтермен адгезивтік қабілеті жоғары, бұл қан компоненттерімен тікелей әрекеттесу үшін маңызды.

2. Lactobacillus curvatus – ет өнеркәсібінде қолданылатын және ақуызды матрицаларда құрылым қалыптастыру қабілетімен танымал бактерия. Бұл штамм экзополисахаридтер өндіреді, олар тұтқырлық пен гель түзілуге әсер етеді.

3. Pediococcus acidilactici – антимикробтық пептидтерді өндіре алатын және ақуыз-полисахаридтік өзара әрекетке қатысатын бактерия. Бұл штаммды плазмалық коагуляция контекстінде зерттеу оның метаболиттерінің фибриндік ақуыз желісіне әсерін бағалауға мүмкіндік береді.

4. Pediococcus pentosaceus – функционалдық сипаттамалары жағынан алдыңғы штаммға ұқсас, бірақ метаболиттік және экзопродукциялық профилі бойынша ерекшеленеді. Бұл штаммды таңдау Pediococcus туыстастығы ішіндегі айырмашылықтарды салыстырмалы түрде бағалау қажеттілігімен байланысты.

5. Bifidobacterium lactis пен Bifidobacterium longum – ішек микробиотасының маңызды өкілдері, пробиотикалық өнімдерде белсенді қолданылады. Бұл штаммдар иммундық және метаболикалық үдерістерді, соның ішінде биологиялық белсенді метаболиттер арқылы қанның ұйыту факторларына әсер ету қабілетіне ие. Олардың плазмаға әсері тікелей емес, pH деңгейінің, иондық құрамның өзгеруі немесе сигналдық молекулалардың бөлінуі арқылы жүзеге асуы мүмкін.

6. Staphylococcus xylosus – сүт қышқылды бактерияларға жатпаса да, ет өнімдерін ферменттеу үшін қолданылатын стартерлік культуралардың құрамына жиі кіреді. Бұл штамм жоғары протеолитикалық белсенділікке ие және коагулаза тәрізді заттарды өндіру арқылы ақуыз құрылымына ықпал ете алады.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу нысандары: әр түрлі жастағы ірі қара малдың қаны, сүтқышқылды бактериялар.

Эксперимент жүргізу үшін жеке алынған штаммдар қолданылды: lactobacillus casei, lactobacillus curvatus, pediococcus acidilactici, pediococcus pentosaseus, bifidobacterium lactis, bifidobacterium longum, staphylococcus xylosus.

Микроағзалардың лиофилизацияланған концентраттарынан алынған ашытқыларды қан плазмасына 10, 15, 20% мөлшерінде енгізіп, біраз уақыт бөлме температурасында ұсталынды. Сондай-ақ, плазманың құрылымдануы жүргізілді, ал оның ұйып қалуын болдырмау үшін рекальцификация әдісі қолданылды.

Bifidobacterium lactis, bifidobacterium longum, pediococcus pentosaseus, staphylococcus xylosus штаммдарын біріктіріп қолдану гель тәрізді құрылым алуға оң әсер етіп, қан плазмасының құрылымдануы үшін қолдануға мақсатқа сай екенін көрсетті.

Құрылымның пайда болуы алдымен бөлшектердің пайда болуымен және зерттелетін объектінің тұтқырлығының жоғарылауымен бірге жүреді, содан кейін құрылымдық тор пайда болған кезде тұтқырлық бірнеше есе артады. Құрылымның қалыптасуы көзбен анықталды. Құрылымдық агенттерді қолдану кезінде бұлыңғырлық, тұнба және қалың тромб пайда болды.

Плазмокоагуляттың шекті кернеуі МЕСТ Р 50814-95 бойынша жүргізілді (өзектендіру күні 07.11.2012). Сынақ үлгісі цилиндрлік контейнерге толтырылды, машинаның арнайы ұстағышына индентордың максималды жұмыс массасымен шыңында 60^0 бұрышы бар индентордың астына орналастырылды. Индентор сыйымдылық биіктігі туралы 90%-дан астам тереңдікке батырылған кезде индентордың массасы аз массалық индентормен ауыстырылады және шеткі әсер деп аталмас үшін 2 рет ауыстырылады. Шекті ығысу кернеуінің мәні келесі формуламен анықталады:

$$Q= KP/h^2, \text{ Па}$$

Мұндағы, P – ену күші, N; h – конустың батыру тереңдігі, м; K – конус константасы, төбе бұрышына тәуелді және 0,21-ге тең.

Ену өлшемдерінің нәтижелері бойынша параллель өлшемдердің орташа арифметикалық мәні алынды.

Зерттеу нәтижелері және ғылыми нәтижелерді талқылау

Осыған дейін қан плазмасын құрылымдауға қатысу үшін сүтқышқылды бактериялардың прокоагулянттық белсенділігі 3 жасқа дейінгі бұқашықтардың қанының мысалында зерттелген.

Бактерияларды таңдаудың негізгі критерийлері қосылғаннан кейін плазма ұйығыштарының пайда болуы мен қабілеті, гель түзілу ұзақтығы және синерезис болды.

Bifidobacterium lactis+ bifidobacterium longum+ pediococcus pentosaseus+ staphylococcus xylosus штамдарынан тұратын сүтқышқылды бактериялар жақсы органолептикалық және реологиялық сипаттамалары бар гель тәрізді құрылымды алуға оң әсер етті.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, әртүрлі жастағы ірі қара малдың қаны зерттелді: 6-12 айлық жас мал, 1 жастан 3 жасқа дейін бұқашықтар жән 6-7 жас аралығындағы бұқалар.

Әртүрлі жастағы ірі қара малдың қан плазмасындағы құрылым түзілуіне сүтқышқылды бактериялардың концентрациясының әсері зерттелді. Нәтижелер 1-кестеде берілген.

Кесте 1 – Әртүрлі жастағы ірі қара малдың қан плазмасындағы құрылым түзілуіне сүтқышқылды бактериялардың концентрациясының әсері

Ірі қара мал	Ашытқы концентрациясы, ірі қара малдың плазма массасының %					
	Қан ұйығышының болуы немесе болмауы	Гель түзілу уақыты, сағ	Қан ұйығышының болуы немесе болмауы	Гель түзілу уақыты, сағ	Қан ұйығышының болуы немесе болмауы	Гель түзілу уақыты, сағ
	10		15		20	
6 айдан 12 айға дейінгі жас жануарлар	±	20±0,4	+	6±0,55	+	1,5±0,6
1 жастан 3 жасқа дейінгі бұқашықтар	+	15±0,5	+	2±0,03	+	1±0,25
6 жастан 7 жасқа дейін	+	13±0,4	+	2,5±0,3	+	1,2±0,15
$CaCl_2$ қосылған бақылау үлгісі	+	0,9±0,5				

1-кестеден көрініп тұрғандай, 1 жастан 3 жасқа дейінгі бұқалардағы плазма гельдену ұзақтығы бақылау мәніне жақын, яғни кальциленген плазманың плазмалық коагуляциясының түзілу ұзақтығына.

6 айдан 12 айға дейінгі жас жануарлардан алынған қан плазмасының гельдену ұзақтығы 1,5-20 сағатқа дейін, 20% сүтқышқылды бактериялар концентрациясы кезінде алынған мән 1,5±0,6-ға тең болды, бұл бақылаудан жоғары. 6 жастан 7 жасқа дейінгі бұқаларда гельді өңдеу 1,2 сағаттан 13 сағатқа дейін созылды, бұл да бақылау мәніне сәйкес келмейді. Бұл плазмалық коагуляция кезеңдерін тежеуге қабілетті, осылайша коагуляциялық әсерді тежейтін фрагменттелген эритроциттердің санына байланысты болуы мүмкін.

Ірі қара малда және жылқыда эритроциттердің саны жас кезінде өте көп болады, кейін бірнеше ай, кейде 1-2 жаста азаяды. [12]

Плазмокоагуляттың органолептикалық бағасы 2-кестеде берілген.

Кесте 2 – Плазмокоагуляттың органолептикалық көрсеткіштері

Бағаланатын көрсеткіш	Сипаттама		
	Ашытқы концентрациясы, %		
	10	15	20
Түсі	Ақшыл қоңыр	Кремді	Ақшыл кремді
Консистенциясы	Серпімді, желатинді		
Иісі және дәмі	Бейтарап	Сүтқышқылды	Айқын сүтқышқылды

Кестеден түсінің ашық қоңырдан ақшыл кремді түске өзгергенін, яғни қарқындылығы азайғанын көруге болады. Иісі мен дәмі бейтарап болды, бірақ ашытқы концентрациясының жоғарылауымен сүтқышқылды дәм пайда болды. Барлық үлгілердің консистенциясы серпімді және желатинді болды.

Кестеден түсінің ашық қоңырдан ақшыл кілегейге өзгергенін, яғни қарқындылығы азайғанын көруге болады. Иісі мен дәмі бейтарап болды, бірақ бастапқы дақылдардың концентрациясының жоғарылауымен қышқыл сүт дәмі пайда болды. Барлық үлгілердің консистенциясы серпімді және желатинді болды.

Әрі қарай, алынған құрылымданған плазманың консистенциясын салыстырмалы бағалау үшін шекті ығысу кернеуі анықталды. Оның нәтижелері 3-кестеде көрсетілген.

Кесте 3 – Құрылымданған плазманың консистенциясын салыстырмалы бағалау

Ірі қара мал	Құрылымданған плазманың шекті ығысу кернеуі, Па		
	Ашытқы концентрациясы, %		
	10	15	20
6 айдан 12 айға дейінгі жас жануарлар	154,1±1,14	325,5±1,01	344,6±1,15
1 жастан 3 жасқа дейінгі бұқашықтар	160,4±0,90	357,0± 1,15	398,2±1,10
6 жастан 7 жасқа дейін	162,3±1,10	378,0±1,20	384,4±1,15
$CaCl_2$ қосылған бақылау үлгісі	408,5±1,5		

3-кестеге сүйене отырып, bifidobacterium Lactis, bifidobacterium longum, pediococcus pentosaseus, staphylococcus xylosus штаммдарынан тұратын 10% сүт қышқылының ашытқы концентрациясы құрылыманған плазманың сығысу шекті кернеуінің ең төменгі мәнімен сипатталады деген қорытынды жасауға болады. 15% концентрацияда плазмокоагуляттар 10% – бен салыстырғанда тығызырақ, бірақ бақылау үлгісімен салыстырғанда жеткіліксіз мәндер алынды. 20% сүт қышқылы бар құрылымдық плазманы зерттеу кезінде бактериялар бақылау үлгісімен ығысудың шекті кернеуінің мәндері жақын плазмокоагулят алынды.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу әртүрлі жастағы сойылған қара ірі малдың қан плазмасының консистенциясы мен тамақ жүйелеріндегі құрылымдарды қалыптастыру қабілетінің көрсеткіштерімен ерекшеленетіні анықталды. Ет өңдеу өнеркәсібінде функционалды ингредиент ретінде плазманы қолдану әлеуетіне әсер ететін сандық және сапалық айырмашылықтар анықталды. 1 жастан 3 жасқа дейінгі бұқашықтардың қан плазмасының ең жоғары құрылымдық қасиеттері бар екені белгілі болды. Нәтижелер белгілі бір құрылымы бар және тағамдық құндылығы жоғары өндірісте қан плазмасын ұтымды пайдалануды ұсынуға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Современное состояние мясной промышленности в условиях технологического развития аграрного сектора Казахстана / Г.К. Сапарова и др. // Наука Красноярья. – 2021. – Том 10, № 1. – С. 82-105.
2. Основы механической обработки сырья животного и растительного происхождения и технологии производства комбинированных мясных продуктов: монография / Ж.З. Уразбаев. – Семей: Семипалатинский государственный университет имени Шакарима, – 2010. – 260 с.
3. Волощенко Л.В. Функционально-технологические свойства сухих продуктов из крови сельскохозяйственных животных / Л.В. Волощенко, Н.П. Салаткова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 215-215.
4. Effect of locally produced blood meal on growth performance and packed cell volume of broiler chicks / U.A. Nwogor et al // American Journal of Agriculture and Forestry. – 2015. – Т. 3, № 3. – P. 105-108.
5. Issues related to animal blood into food products: a review paper / A. Rohman et al // Food Research. – 2021. – Т. 5, № 3. – P. 12-21.
6. Effect of Non-Meat Proteins on Storage Characteristics and Amino Acid Composition of Pork Emulsified Sausages / S.K. Jin et al // Food Science of Animal Resources. – 2024. – Т. 44, № 5. – P. 1069.
7. Slaughterhouse blood: an emerging source of bioactive compounds / C.S. Bah et al // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2013. – Т. 12, № 3. – P. 314-331.
8. Boxman I.L.A. Porcine blood used as ingredient in meat productions may serve as a vehicle for hepatitis E virus transmission / I.L.A. Boxman, C.C.C. Jansen, G. Hagele // International Journal of Food Microbiology. – 2017. – Т. 257. – P. 225-231.

9. Optimising the use of proteins from rich meat co-products and non-meat alternatives: Nutritional, technological and allergenicity challenges / C. Anzani et al // Food Research International. – 2020. – Т. 137. – P. 109575.
10. Исследование качества комплексных пищевых добавок для колбасных изделий / М.В. Федоров и др. // Управленец. – 2014. – № 1. – С. 64-67.
11. Использование крови животных в мясоперерабатывающей промышленности / А.Ф. Добрынина и др. // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – № 1. – С. 80-80.
12. Любин, Н.А. Организация самостоятельной работы студентов / Н.А. Любин, С.Н. Хохлова, Н.Г. Симанова // В сборнике: Инновационные технологии в высшем профессиональном образовании. Материалы Научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава академии. Редколлегия: А.В. Дозоров главный редактор ректор, М.В. Постнова, Т.В. Костина, В.А. Асмус. – Ульяновск: Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия. – 2010. – С. 146-155.

References

1. Sovremennoe sostoyanie myasnoi promyshlennosti v usloviyakh tekhnologicheskogo razvitiya agrarnogo sektora Kazakhstana / G.K. Saparova i dr. // Nauka Krasnoyar'ya. – 2021. – Tom 10, № 1. – S. 82-105. (In Russian).
2. Osnovy mekhanicheskoi obrabotki syr'ya zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniya i tekhnologii proizvodstva kombinirovannykh myasnykh produktov: monografiya / ZH.Z. Urazbaev. – Semei: Semipalatinskii gosudarstvennyi universitet imeni Shakarima, – 2010. – 260 s. (In Russian).
3. Voloshchenko L.V. Funktsional'no-tekhnologicheskie svoistva sukhikh produktov iz krovi sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh / L.V. Voloshchenko, N.P. Salatkova // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2014. – № 4. – S. 215-215. (In Russian).
4. Effect of locally produced blood meal on growth performance and packed cell volume of broiler chicks / U.A. Nwogor et al // American Journal of Agriculture and Forestry. – 2015. – Т. 3, № 3. – R. 105-108. (In English).
5. Issues related to animal blood into food products: a review paper / A. Rohman et al // Food Research. – 2021. – Т. 5, № 3. – R. 12-21. (In English).
6. Effect of Non-Meat Proteins on Storage Characteristics and Amino Acid Composition of Pork Emulsified Sausages / S.K. Jin et al // Food Science of Animal Resources. – 2024. – Т. 44, № 5. – R. 1069. (In English).
7. Slaughterhouse blood: an emerging source of bioactive compounds / C.S. Bah et al // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2013. – Т. 12, № 3. – R. 314-331. (In English).
8. Boxman I.L.A. Porcine blood used as ingredient in meat productions may serve as a vehicle for hepatitis E virus transmission / I.L.A. Boxman, C.C.C. Jansen, G. Hagele // International Journal of Food Microbiology. – 2017. – Т. 257. – R. 225-231. (In English).
9. Optimising the use of proteins from rich meat co-products and non-meat alternatives: Nutritional, technological and allergenicity challenges / S. Anzani et al // Food Research International. – 2020. – Т. 137. – R. 109575. (In English).
10. Issledovanie kachestva kompleksnykh pishchevykh dobavok dlya kolbasnykh izdelii / M.V. Fedorov i dr. // Upravlenets. – 2014. – № 1. – S. 64-67. (In Russian).
11. Ispol'zovanie krovi zhivotnykh v myasopererabatyvayushchei promyshlennosti / A.F. Dobrynina i dr. // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2011. – № 1. – S. 80-80. (In Russian).
12. Lyubin, N.A. Organizatsiya samostoyatel'noi raboty studentov / N.A. Lyubin, S.N. Khokhlova, N.G. Simanova // V sbornike: Innovatsionnye tekhnologii v vysshem professional'nom obrazovanii. Materialy Nauchno-metodicheskoi konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava akademii. Redkollegiya: A.V. Dozorov glavnyi redaktor rektor, M.V. Postnova, T.V. Kostina, V.A. Asmus. – Ul'yanovsk: Ul'yanovskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya. – 2010. – S. 146-155. (In Russian).

А.М. Шуленова[1*], А.Л. Касенов[1], М.М. Какимов[1], М.Т. Мурсалыкова[2], С.Н. Туменов[3]
[1]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
010011, Республика Казахстан, г.Астана, проспект Женис, 62
[2]Шәкәрім университет,
071410, Республика Казахстан, город Семей, Глинки, 20А
[3]Астанинский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности»
010000, Республика Казахстан, г.Астана, район Байконур, проспект Аль-Фараби, 47
*e-mail: shulenovaa@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОНСИСТЕНЦИИ И СТРУКТУРООБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЛАЗМЫ КРОВИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Статья посвящена перспективам использования белковых фракций плазмы крови в качестве источника белка в мясоперерабатывающей промышленности. Необходимость создания таких продуктов обусловлена сложившейся ситуацией в области мясопереработки-недостаточным производством мясной продукции.

Плазма крови содержит набор незаменимых аминокислот, необходимых для синтеза белков в организме человека. Благодаря высокой растворимости и функциональным характеристикам белки плазмы легко интегрируются в различные пищевые матрицы, улучшая их пищевую ценность и органолептические свойства. Белки плазмы крови имеют высокую биологическую и функциональную ценность. Для функциональности характерны такие способности, как гелеобразование, пенообразование, эмульгирование и стабилизация мясных продуктов. В данной работе изучена консистенция и способность к формированию структуры плазмы крови крупного рогатого скота разных возрастов. Исследована способность к гелеобразованию плазмы крови молодняка крупного рогатого скота, бычков в возрасте от 1 до 3 лет и от 6 до 7 лет и влияние концентрации молочнокислых бактерии на структурирование плазмы крови крупного рогатого скота. Далее была проведена сравнительная оценка консистенции, полученной из структурированной плазмы. Целью данной работы является сравнительная оценка консистенции и структурообразующей способности плазмы крови крупного рогатого скота.

Ключевые слова: *мясоперерабатывающая промышленность, мясные продуктыі, кровь убойных животных, плазма крови, молочнокислые бактерии, гелеобразование.*

A. Shulenova[1*], A. Kassenov[1], M. Kakimov[1], M. Mursalykova[2], S. Tumenov[3]
[1]S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university,
010011, Republic of Kazakhstan, Astana city, Zhenis avenue, 62
[2]Shakarim University,
071400, Republic of Kazakhstan, Semey city, st. Glinka, 20 A
[3]Astana branch of LLP «Kazakh research institute of processing and food industry»
010011, Republic of Kazakhstan, Astana city, Baikonur district, Al-Farabi Avenue, 47
*e-mail: shulenovaa@mail.ru

COMPARATIVE ASSESSMENT OF CONSISTENCY AND STRUCTURE-FORMING ABILITY OF BOVINE BLOOD PLASMA

The article is devoted to the prospects of using protein fractions of blood plasma as a source of protein in the meat processing industry. The necessity of creation of such products is caused by the current situation in the field of meat processing-insufficient production of meat products.

Blood plasma contains a set of essential amino acids necessary for protein synthesis in the human body. Due to high solubility and functional characteristics, plasma proteins are easily integrated into various food matrices, improving their nutritional value and organoleptic properties. Blood plasma proteins have high biological and functional value. Functionality is characterized by such abilities as gelation, foaming, emulsification and stabilization of meat products. In this paper, the consistency and structure forming ability of blood plasma of cattle of different ages was studied. The gelling ability of blood plasma of young cattle, steers aged 1 to 3 years and 6 to 7 years and the effect of lactic acid bacteria concentration on the structuring of blood plasma of cattle were investigated. Further, the consistency obtained from the structured plasma was comparatively evaluated. The aim of this work is to comparatively evaluate the consistency and structuring ability of bovine blood plasma.

Key words: *meat processing industry, meat products, slaughter animal blood, blood plasma, lactic acid bacteria, gelation.*

Авторлар туралы мәліметтер

Асем Манарбековна Шуленова* – техника ғылымдарының магистрі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының докторанты, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы; e-mail: shulenovaa@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2812-075X.

Амиржан Леонидович Касенов – техника ғылымдарының докторы, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы; e-mail: a.kassenov@kazatu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7715-1128.

Мухтарбек Муканович Какимов – техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының меңгерушісі, С. Сейфуллин атындағы, Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1190-2195.

Майгуль Тауржановна Мурсалыкова – PhD докторы, Шәкәрім университеті постдокторанты, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы; e-mail: maigul_85@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5904-9544.

Серик Ниязбекович Туменов – техника ғылымдарының докторы, «Қазақ қайта өңдеу және өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институтының» ЖШС Астана филиалының бас ғылыми қызметкері, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы; e-mail: s.tumenov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3086-1533.

Сведения об авторах

Асем Манарбековна Шуленова* – магистр технических наук, докторант кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет им. Сакена Сейфуллина, Республика Казахстан, город Астана; e -mail: shulenovaa@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2812-075X.

Амиржан Леонидович Касенов – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, город Астана; e-mail: a.kassenov@kazatu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7715-1128.

Мухтарбек Муканович Какимов – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, город Астана; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1190-2195.

Майгуль Тауржановна Мурсалыкова – доктор PhD, постдокторант Шәкәрім университет, Республика Казахстан, город Семей; e-mail: maigul_85@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5904-9544.

Серик Ниязбекович Туменов – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Астанинского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Республика Казахстан, город Астана; e-mail: s.tumenov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3086-1533.

Information about the authors

Assem Shulenova* – Master of Technical Sciences, Doctoral student of the department of «Food Technology and Processing Products» Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Republic of Kazakhstan, Astana city; e-mail: shulenovaa@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2812-075X.

Amirzhan Kassenov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Technology of Food and Processing Industries», S. Seifullin Kazakh Agro-Technical Research University, Republic of Kazakhstan, Astana city; e-mail: a.kassenov@kazatu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7715-1128.

Mukhtarbek Kakimov – Candidate of Technical Sciences, professor, Head of the Department «Technology of Food and Processing Industries», Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan, Astana city; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1190-2195.

Maigul Mursalykova – PhD, postdoctoral fellow, Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semey city; e-mail: maigul_85@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5904-9544.

Serik Tumenov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Scientific Officer of Astana Branch of LLP «Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry», Republic of Kazakhstan, Astana city; e-mail: s.tumenov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3086-1533.

Редакцияға енуі 02.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 07.08.2025
Жариялауға қабылданды 08.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-38

BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 65.59.17

Н.Р. Муслимова[1]*, Г.Н. Нұрымхан[1], Ж.Э. Озбекова[2]
[1]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки көш., 20 А
[2]Манас Қырғыз-Түрік университеті,
Қырғызстан Республикасы, Бішкек
*e-mail: muslimova.n.r@mail.ru

СИЫР ЕТІН ИЛУ-10 ЭЛЕКТРОНДЫ ҮДЕТКІШТЕ ӨҢДЕУДІҢ ОҢТАЙЛЫ ПАРАМЕТРІ ЖӘНЕ ОНЫҢ САҚТАУ МЕРЗІМІНЕ ӘСЕРІ

Аңдатпа: *Ет және ет өнімдерінің сапасын ұзақ уақыт сақтау көптеген факторларға, соның ішінде физика-химиялық процестерге, микроорганизмдердің белсенділігіне және сенсорлық сипаттамалардың өзгеруіне байланысты күрделі міндет болып табылады. Осыған байланысты радиациялық өңдеу микробиологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету қабілетінің арқасында ет өнеркәсібінде перспективалы әдіс ретінде қарастырылады. Бұл зерттеу төмен энергиялы электронды сәулені қолданудың тиімділігін зерттеуге бағытталған.*

Зерттеу жұмысының тәжірибелік бөлімінде 5 МэВ-тан аз энергиясы бар наносекундтық электронды сәуле шығаратын ИЛУ-10 үдеткішінде сиыр етінің үлгілерін сәулелендіру қарастырылған. Сиыр етінің үлгілері 3, 6 және 9 кГр мөлшерінде өңделді. Нәтижелер 3 кГр мөлшерде микробиологиялық ластанудың айтарлықтай төмендеуін, атап айтқанда, ет бетінен патогендік микроорганизмдердің жойылуын қамтамасыз ететінін көрсетті. Радиациялық сәулелендіру мөлшерін оңтайлы параметрін қолдану үлгілердің пролангация мерзімінде микроағзалардың пайда болмайтындығын көрсетті. Сонымен қатар, 3 кГр мөлшерінде сәулелендіру өнім сапасының интегралды көрсеткіштеріне айтарлықтай әсер еткен жоқ. Зерттеу нәтижелері электронды үдеткіштің көмегімен жүргізілген радиациялық өңдеудің тамақ өнеркәсібінде өнімнің сақтау мерзімін ұзартуға әлеуетті ықпал ететінін дәлелдейді. Осылайша, электронды үдеткіш көмегімен жүргізілген радиациялық өңдеу ет өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етуде және сақтау мерзімін арттыруда тиімді құрал бола алады.

Түйін сөздер: *электронды үдеткіш, радиациялық өңдеу, өңдеудің оңтайлы параметрі, сақтау мерзімі, микробиологиялық қауіпсіздік.*

Кіріспе

Қазіргі таңда әлемдік тамақ өнеркәсібінде азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету және олардың сақтау мерзімін ұзарту өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Әлем бойынша жыл сайын миллиондаған адамның тамақтан уланууы және азық-түліктің микробиологиялық ластану салдарынан үлкен көлемде ысырап болуы бұл мәселенің маңыздылығын айқын көрсетеді [1]. Сақтау және тасымалдау барысында ет және ет өнімдерінің 30% астамы шығынға ұшырайды. Бұл кәсіпорындар үшін үлкен мәселе болып табылады.

Сиыр еті адам рационындағы құнды азықтық өнім болып табылады, ол жоғары сапалы ақуыздарға, темірге, В тобының витаминдеріне және басқа да маңызды нутриенттерге бай [2]. Дегенмен, сиыр етінің құрамы мен ылғалдылығы жоғары болғандықтан, ол микроағзалардың өсуіне қолайлы орта болып табылады, бұл оның тез бұзылуына және сақтау мерзімінің шектеулі болуына әкеледі [3]. Осыған байланысты, сиыр етінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету және сақтау мерзімін ұзартудың тиімді әдістерін іздестіру қажеттілігі туындайды.

Бұл зерттеудің мақсаты – ИЛУ-10 электронды үдеткішінде сиыр етін өңдеудің тиімділігін анықтау және оның сақтау мерзіміне әсерін бағалау болып табылады.

Бұл зерттеудің ғылыми жаңалығы ИЛУ-10 электронды үдеткішін қолдану арқылы сиыр етін өңдеудің оңтайлы параметрлерін ғылыми негіздеу және электронды сәулелендірудің сиыр етінің сапалық көрсеткіштері мен сақтау мерзіміне кешенді әсерін анықтау болып табылады. Бұған дейін Қазақстанда сиыр етін электронды сәулелендіру арқылы өңдеудің тиімділігі мен қауіпсіздігін жан-жақты зерттеулер жеткіліксіз болған.

Ет сою алаңдары мен ет сату базарларындағы санитарлық талаптардың жеткіліксіздігін ескере отырып, өнімнің микробиологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында электронды сәулелендіру технологиясын қолданысқа енгізудің орындылығы туындайды.

Анықталған оңтайлы параметрлер өнімнің микробиологиялық қауіпсіздігін арттыруға, сақтау мерзімін ұзартуға және азық-түлік шығынын азайтуға ықпал етеді. Сонымен қатар, алынған мәліметтер нормативтік-техникалық құжаттарды жетілдіруге және тұтынушылардың электронды сәулелендірілген өнімдерге деген сенімін арттыруға септігін тигізеді.

Электронды сәулелендірудің азық-түлік өнімдерін өңдеудегі қолданылуы және оның принциптері. Электронды сәулелендіру - азық-түлік өнімдерін иондаушы сәулелену көзімен өңдеу әдісі. Бұл процесс микроорганизмдерді, зиянкестерді жоюға және өнімнің сақтау мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді. Электронды сәулелендірудің негізгі принципі - жоғары энергиялы электрондардың азық-түлік құрамындағы молекулалармен әрекеттесуі нәтижесінде ДНҚ-ны зақымдауы, бұл микроорганизмдердің көбеюін тоқтатады. Бұл әдіс көптеген елдерде азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудің тиімді құралы ретінде кеңінен қолданылады[4].

ИЛУ-10 электронды үдеткішінің техникалық сипаттамасы және жұмыс істеу принципі. ИЛУ-10 – өнеркәсіптік мақсаттарда қолданылатын жоғары қуатты тікелей әсер ететін электронды үдеткіштің бір түрі. Ол электрондарды жоғары энергияға дейін үдетеді және оларды өңделетін өнімге бағыттайды [5]. ИЛУ-10 үдеткіші жоғары өнімділікке, басқарудың қарапайымдылығына және энергияны тиімді пайдалануға мүмкіндік беретін техникалық сипаттамаларға ие. Оның жұмыс істеу принципі электр өрісінің көмегімен электрондарды жылдамдатуға және магнит өрісінің көмегімен оларды қажетті бағытқа бұруға негізделген.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Зерттеу материалы ретінде 3, 6, және 9 кГр өңдеуден өткен және өңдеуге дейінгі сиыр еті үлгілері алынды. Алматы қаласындағы ШЖҚ РМК «Ядролық физика институтында» радиациялық өңдеу жүргізілді. Радиациялық өңдеу үшін импульстік жоғары жиіліктегі желілі үдеткіш ИЛУ-10 құрылғысы пайдаланылды. Әртүрлі мөлшерде өңдеуден өткен сиыр еті сынамалары микробиологиялық, физика-химиялық, минералды құрамы мен дәрумендері және аминқышқыл құрамы «Тамақ қауіпсіздігі» ҒЗИ (Алматы қ.) және «Нутритест» ЖШС (Алматы қ.) зерттеуден өтті.

Үдеткіштің генераторлармен бірге алғанда биіктігі 2,4 м. ИЛУ-10 үдеткішінде үлкенірек резонатор және екі ЖЖ генераторы бар. ЖЖ генераторлары бірдей – тікелей үдеткіш вакуумдық резервуарға орналастырылған. Резонаторлардың диаметрлері және жұмыс жиіліктері бірдей – 118 МГц, ИЛУ-10 үдеткішінің резонаторы үлкен биіктікке ие және осыған байланысты көлемі үлкенірек және жоғары сапалы фактор мен шунтқа төзімдірек болып келеді (шунтқа резонатор төзімділігі ИЛУ – 10- 9 Мом) [1].

Жоғары сапа факторының және екі ЖЖ генераторын пайдаланудың арқасында ИЛУ-10 үдеткіші 5 МэВ-тан сәл жоғары қуатта жұмыс істей алады. ИЛУ-10 үдеткішінің жұмыс энергиясының диапазоны 2,5-5 МэВ, сәуленің қуаты 5 МэВ энергиясы кезінде 40 кВт-қа дейін және жұмыс энергиясының диапазонының ортасында 50 кВт-қа дейін. ИЛУ-10 үдеткіштерінің үдеткіш жүйесі тот баспайтын болаттан жасалған вакуумдық резервуардың ішіне орналастырылған мыс тороидты резонатор (1-суретте көрсетілген) болып табылады. Үдеткіш ішіндегі жоғары вакуум магнитті разрядты сорғылардың жұмысымен қамтамасыз етеді [4].

Резонатордағы ЖЖ тербелістері екі ЖЖ генераторының көмегімен қозғалады. ЖЖ энергиясы генераторлардан резонаторға вакуумды ажырату конденсаторы арқылы ЖЖ генератор шамының анодына қосылған ілу контуры арқылы беріледі. Резонатор екі бөліктен тұрады, ішкі проекциялары олардың арасында үдеткіш саңылау құрайды. Триодты электронды пистолет жоғарғы шығыңқыда орналасқан. Үдеткіш саңылаудың анодтық бөлігін құрайтын төменгі проекциясы сәулені босатуға арналған тесікпен жабдықталған. Бұл тесік арқылы жеделдетілген электрондар шоғы магниттік линза арқылы сәуле шығару құрылғысына өтеді. Магниттік линза үдеткіш пен шығару құрылғысындағы сәуленің жоғалуын азайту үшін сәулені фокустайды. Шығару құрылғысы қалыңдығы 50 мкм жұқа титан фольгамен жабылған сәуленің шығыс терезесінің бойымен сканерленуін қамтамасыз етеді. Шығару терезесінің стандартты ұзындығы – 980 мм, ені – 80 мм [9.10].

Жұмыс режимі: энергия 5 МэВ, импульстік сәуле тоғы – 350 мА; орташа ток – 4,3 мА; сканерлеу ені 80 см; конвейердің жылдамдығы – 2,3 см/сек.

Радиациялық өңдеуді жүргізген кезде интегралдық мөлшерны ғана емес, оның өнім көлеміне таралуын да бақылау маңызды. Әртүрлі өңдеу режимдері өңделетін нысанның тереңдігі бойынша әртүрлі мөлшерны бөлуді талап етеді. Сондай-ақ сәулелену кезіндегі конвейердің қозғалысы, сәулелену энергиясы, конструкциясы, үлгі геометриясы, олардың тығыздығы және т.б. сияқты параметрлерді ескеру қажет.

Технологиялық процестің негізгі параметрлері 1-ші кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Өңдеу процесінің негізгі параметрлері

Өңдеу мөлшері	Е, МэВ	Iимп, мА	f, Гц	Iср, мА	Конвейер жылдамдығы, см/сек	Сәулелендіру
3 кГр	5	122	6	0,37	4	екі жағынан өңдеу
6 кГр	5	183	8	0,73	4	екі жағынан өңдеу
9 кГр	5	171	12	1,03	4	екі жағынан өңдеу

Импульсті сызықты электронды үдеткіш ИЛУ-10 энергия диапазоны – 5 МэВ; сәуленің қуаты – 50 кВт; инжектордың жұмыс режиміне жету уақыты (катодты жылыту) – 90 с энергияның тұрақсыздығы – 2%; сәулелік тоқтың тұрақсыздығы – 2%; импульс ұзақтығы – 0,5 мс. ELV-4 жоғары вольтты трансформаторлық электронды үдеткіш – энергия диапазоны – 1,0-1,5 МВ, жеделдетілген электрондардың максималды тоғы – 50 мА, сәуленің қуаты – 50 кВт; энергияның шығын өлшемі: ұзындығы 980 мм, ені 75 мм.

Зерттеу нәтижелері. Жүргізілген зерттеу барысында алынған нәтижелер төмендегідей болды.

Шикізатты өңдеуге дейінгі және әртүрлі мөлшерде өңдеуден кейінгі микробиологиялық көрсеткіштерін талдау 2 -кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Сынамалардың микробиологиялық көрсеткіштері

Атауы	Бақылау үлгісі	3 кГр	6 кГр	9 кГр	Пролангациядан кейін (t=0-4^{0}С, 26 күн)	
					Бақылау үлгісі	Өңдеуден кейін
Clostridium spp. 0,01 гр.	Анықталды	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	+	Анықталмады
КМАФАнМ, КОЕ/г	1,3х10^2	1х10^2	1х10^2	Анықталмады	1,6х10^5	1,0х10^1
Escherichia coli 1,0 гр.	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	+	Анықталмады
Salmonella	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады	Анықталмады

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, барлық қолданылған сәулелендіру мөлшерларында 0,01 гр үлгідегі Clostridium spp. анықталмады, бұл электронды сәулелендірудің аталған анаэробты бактерияларды элиминациялаудағы тиімділігін көрсетеді. КМАФАнМ көрсеткіші бақылау үлгісінде бастапқы мәнінен (1,3х10² КОЕ/г) 3 кГр және 6 кГр мөлшерларында сәулелендіруден кейін төмендегені байқалды, ал 9 кГр мөлшерсында анықталмады. Пролонгация кезеңінде (t=0-4^{0}С, 26 күн) бақылау үлгісінде КМАФАнМ-нің айтарлықтай өсуі тіркелгенімен, сәулелендірілген үлгілерде, әсіресе 9 кГр мөлшерсында, олардың саны едәуір төмен күйінде қалды. Барлық сәулелендіру нұсқаларында және бақылау үлгісінде 1,0 гр үлгідегі Escherichia coli мен Salmonella анықталмады, бұл зерттелген үлгілерде аталған бактериялардың бастапқыда болмағанын немесе анықтау шегінен төмен концентрацияда болғанын көрсетеді [7, 8].

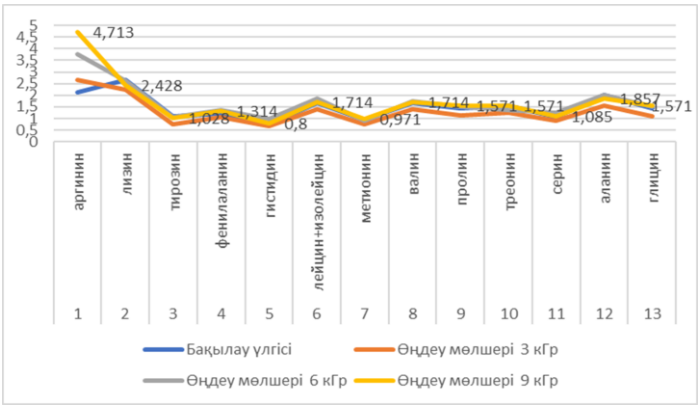
Сынамалардың физика-химиялық көрсеткіштерін, минералды элементтері және В тобының дәрумендерін зерттеу 3-кестеде көрсетілген.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері көрсеткендей, сиыр етін ИЛУ-10 электронды үдеткішінде әртүрлі мөлшерде сәулелендіру оның құрамындағы кейбір физика-химиялық және биохимиялық көрсеткіштерге ықпал етеді. Атап айтқанда, сәулелендіру мөлшерсының артуымен ақуыздың массалық үлесінің жоғарылау тенденциясы байқалды. Ол еттің құрамындағы ылғал мөлшерінің төмендеуіне байланысты. Сонымен қатар, майдың қышқылдық саны да өсу көрсеткіші 6 және 9 кГр байқалды, бұл майлардың тотығу процесінің белгілі бір деңгейде күшеюі мүмкін екенін болжайды. Минералды элементтер бойынша, мырыш мөлшерінің барлық сәулелендіру нұсқаларында бақылау үлгісімен салыстырғанда өзгерістері тіркелді, ал темір мөлшерінде айтарлықтай ауытқулар байқалмады. Дәрумендердің құрамында да сәулелендіру мөлшеріне байланысты айтарлықтай өзгеріске ұшыраған жоқ.

Кесте 3 – Физика-химиялық, минералды элементтер және В тобының дәрумендерінің әртүрлі өңдеу мөлшерінде өзгеруі

Көрсеткіштер атауы	Бақылау үлгісі	Өңдеуден кейін 3 кГр	Өңдеуден кейін 6 кГр	Өңдеуден кейін 9 кГр
Физика-химиялық көрсеткіштер:				
– ақуыздың массалық үлесі, %	20,91±0,05	18,95±0,08	22,33±0,08	25,06±0,08
– майдың қышқылдық саны, мгКОН/г	0,42±0,002	0,45±0,003	0,60±0,005	0,65±0,005
Минералды элементтер:				
– Fe, мг/100 г	2,83±0,05	2,95±0,05	3,92±0,03	2,80±0,05
– Zn, мг/100 г	3,75±0,08	0,55±0,05	3,97±0,08	4,01±0,05
Дәрумендер:				
– B_1, мг/100 г	0,05±0,01	0,05±0,01	0,04±0,008	0,04±0,008
– B_2, мг/100 г	0,21±0,088	0,22±0,088	0,18±0,076	0,23±0,096
– B_6, мг/100 г	0,48±0,096	0,52±0,104	0,55±0,110	0,65±0,130
– B_3, мг/100 г	1,92±0,384	2,18±0,436	3,21±0,642	3,05±0,610
– B_5, мг/100 г	0,62±0,112	0,58±0,104	0,65±0,117	0,65±0,117
– B_9, мг/100 г	0,010±0,002	0,012±0,002	0,014±0,002	0,018±0,003

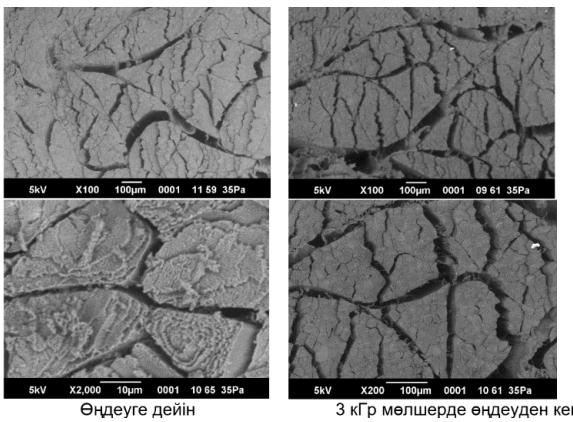
Аминқышқылдар құрамының өзгеруі 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 – Аминқышқылдар құрамының өзгеруі

Жүргізілген зерттеу нәтижелері көрсеткендей, сиыр етін әртүрлі мөлшердегі электронды үдешткішпен сәулелендіру аминқышқылдық құрамда қалыпты өзгерістер көрсетті. Атап айтқанда, аргининнің массалық үлесі сәулелендіру мөлшері жоғарылауымен бірге өсу тенденциясын көрсетті. Кейбір аминқышқылдарында, мысалы, лизин мен треонинде, сәулелендірудің әртүрлі мөлшерлерінде құрамының төмендеуі байқалды. Лейцин+изолейцин және валин сияқты аминқышқылдарында алдымен жоғарылап, кейіннен төмендеу үрдісі тіркелді. Аланин мен глициннің мөлшерінде де сәулелендірудің әр түрлі мөлшерларына байланысты елеулі ауытқулар байқалды.

Үлгілерді өңдеуге дейінгі және өңдеуден кейінгі еттің мироқұрылымы 2-суретте көрсетілген. Үлгілердің микроқұрылымы Шәкәрім университеті базасындағы «Радиоэкологиялық зерттеулер» ғылыми орталығында жүргізілді.



Өңдеуге дейін 3 кГр мөлшерде өңдеуден кейін

Сурет 2 – Сынамалардың мироқұрылымы

Жүргізілген микроқұрылымдық зерттеулер нәтижесінде ет үлгілерінің құрылымында елеулі өзгерістер анықталмады. Зерттелген тіндердің біртұтастығы сақталған, ал бұлшықет талшықтарының қалыпты орналасуы мен морфологиясы сақталғандығын көрсетеді.

Зерттеу нәтижелерін талдау

Жүргізілген тәжірибелік зерттеулер сиыр етін әртүрлі дозада электронды сәулелендірудің оның микробиологиялық, физика-химиялық, биохимиялық және құрылымдық көрсеткіштеріне әсерін кешенді түрде бағалауға мүмкіндік берді.

Микробиологиялық көрсеткіштерді талдау нәтижелері бойынша Clostridium spp. бактериясы сәулелендірілмеген үлгіде анықталғанымен, сәулелендірілген үлгілердің барлығында (3, 6 және 9 кГр) бұл микроорганизм анықталмады. Бұл радиациялық өңдеудің анаэробты патогендерді жоюда жоғары тиімділікке ие екенін көрсетеді. КМАФАнМ көрсеткіші сәулелендіру дозасы артқан сайын төмендеген, ал 9 кГр мөлшерінде мүлдем анықталмауы микрофлораның толық инактивацияланғанын айғақтайды. Сақтау кезеңінде (t=0-4°C, 26 күн) бақылау үлгісінде микробиологиялық көрсеткіштердің едәуір өскені байқалса, сәулелендірілген үлгілерде бұл көрсеткіштердің деңгейі төмен күйінде сақталған, бұл радиациялық өңдеудің сақтау мерзімін ұзартудағы тиімділігін дәлелдейді. Сонымен қатар, Escherichia coli және Salmonella бактериялары зерттелген барлық үлгілерде анықталмады, бұл олардың бастапқыда болмауы немесе концентрациясының анықтау шегінен төмен болуымен түсіндіріледі.

Физика-химиялық және биохимиялық көрсеткіштер бойынша, ақуыздың массалық үлесі сәулелендіру дозасына байланысты жоғарылау үрдісін көрсетті. Бұл ылғалдың буланuы нәтижесінде ақуыз концентрациясының артуымен байланысты болуы мүмкін. Майдың қышқылдық санының өсуі (әсіресе 6 және 9 кГр дозаларында) липидтердің тотығу реакцияларының күшеюін көрсетуі мүмкін. Минералдық элементтердің ішінде мырыш құрамында айтарлықтай ауытқулар байқалса, темір мөлшері тұрақты деңгейде қалды. В тобы дәрумендерінің құрамында сәулелендіру дозасына байланысты аздаған өзгерістер тіркелгенімен, жалпы деградация деңгейі айтарлықтай болған жоқ, бұл сәулелендірудің тағамдық құндылыққа елеулі әсер етпейтіндігін көрсетеді.

Аминқышқылдық құрам да белгілі бір өзгерістерге ұшырады. Аргинин аминқышқылының мөлшерінің артуы сәулелендірудің әсерінен болатын протеолиз немесе құрылымдық өзгерістерге байланысты болуы мүмкін. Ал лизин мен треонин сияқты кейбір маңызды аминқышқылдардың мөлшері азайған. Лейцин+изолейцин мен валин концентрациясының бастапқыда артып, кейін төмендеуі радиациялық өңдеудің күрделі биохимиялық процестерге ықпал ететінін көрсетеді. Бұл деректер радиациялық әсердің ақуыз құрамына селективті түрде әсер етуі мүмкін екенін болжайды.

Микроқұрылымдық зерттеулер нәтижесі бойынша, сәулелендірудің морфологиялық құрылымға айтарлықтай зиянды әсері анықталмады. Бұлшықет талшықтары мен тіндердің бүтіндігі сақталған, бұл өңделген өнімнің құрылымдық тұтастығын қамтамасыз етеді және органолептикалық көрсеткіштердің нашарламағанын көрсетеді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер сәулелендірудің (әсіресе 6 және 9 кГр дозаларында) ет өнімдерінің микробиологиялық қауіпсіздігін арттыруда, сақтау мерзімін ұзартуда және тағамдық сапасын сақтауда тиімді технологиялық әдіс екенін дәлелдейді. Сонымен қатар, радиациялық өңдеу кезінде физика-химиялық және биохимиялық өзгерістердің белгілі бір шектерде сақталуы осы әдісті жартылай фабрикаттар өндіруде қолдануға болатындығын көрсетеді.

Қорытынды. Электрондық үдеткіштерді қолдануға негізделген тамақтық шикізат пен өнімдерді өңдеудің радиациялық әдістері тамақ өнімдерін «салқын пастерлеу» үшін қауіпсіз. Салқын пастерлеу технологиясы азық-түлік өнімдерін зиянды микрофлорадан зарарсыздандыру арқылы максималды сақтау мерзіміне қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Радиациялық өңдеу әдісі азық-түлік өнімдерінде температураны арттырмай залалсыздандыруға мүмкіндік береді, осылайша өнімнің бастапқы сапасын сақтайды және аз энергияны шығындарымен сақтау мерзімін арттырады.

ИЛУ-10 құрылғысында өнімдерді сәулелендіру әдісі барлық азық-түлік шикізатындағы микробиологиялық ластану мөлшерін тиімді түрде азайтып, олардың қауіпсіздігін қамтамасыз етеді және нормативтік талаптарға сай келеді. Бұл әдіс азық-түлік өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін арттыру үшін тиімді құрал болып табылады. Зерттеу нәтижелері бойынша,

шикізаттың бұзылуына әкелетін микроағзалар мен саңырауқұлақтардың өсуін тоқтату үшін 3 кГр сәулелендіру мөлшері жеткілікті болып табылады. Өңделген шикізаттан алынған жартылай фарикаттар салқындату температурасында 26 күнге дейін сақталады.

Әдебиеттер тізімі

1. Foodborne Disease Burden Epidemiology Reference Group, 2007-15, 2015; Timmermans et al., 2014
2. Орынбеков Д.Р. Оценка эффективности обработки говядины, рыбы и рыбного полуфабриката на ускорителе электронов илу-10 в зависимости от дозиметрических показателей по отношению к clostridium spp / Д.Р. Орынбеков, А.Н. Нургазезова, Г.Н. Нурымхан // Вестник Университета Шакарима. Технические науки. – 2024. – № 3(15). – С. 215-222. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-29
3. Radiation surface antimicrobial processing of poultry meat and by-products using the nanosecond low-energy electron beam / R.A. Vazirov et al // Radiation Physics and Chemistry. – 2024. – № 217. – P. 111528.
4. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Совместная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты. – М.: Весь Мир, 2007.
5. Қалибекызы Ж.К. Сравнительный анализ качества сушеной щуки с использованием токов свч и сушкой горячим воздухом / Ж.К. Қалибекызы, Ф.Х. Смольникова // Вестник Университета Шакарима. Технические науки. – 2024. – № 2(14). – С. 278-285. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-34.
6. Орынбеков Д.Р. Төменгі сортты етті ферменттік препараттармен биотехнологиялық өңдеу / Д.Р. Орынбеков, К.Ж. Амирханов // Вестник Университета Шакарима. Технические науки. – 2024. – № 1(13). – С. 281-286. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-1(13)-35.
7. Jantaranikorn M. Reduction of red blood spots in cooked marinated chicken breast meat by combined microwave heating and steaming / M. Jantaranikorn, K. Thumanu, J. Yongsawatdigul // Poultry Science. – 2023. – Т. 102, № 1. – P. 102317.
8. Lajnaf R. Introductory Chapter: Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Food Processing / R. Lajnaf // Food Processing and Preservation. – IntechOpen, 2023.
9. Marra F. Combining computer aided food engineering and electro-heating applications as contribution to food processing sustainability / F. Marra // Frontiers in Sustainability. – 2023. – Т. 4. – P. 1170467.
10. Промежуточный отчет ПЦФ за 2024 год https://is.ncste.kz/object/view/bHRUVXhnSnZWWGIzRy9RWjRwTGxJUT09

References

1. Foodborne Disease Burden Epidemiology Reference Group, 2007-15, 2015; Timmermans et al., 2014. (In English).
2. Orynbekov D.R. Otsenka ehffektivnosti obrabotki govyadiny, ryby i rybnogo polufabrikata na uskoritele ehlektronov ilu-10 v zavisimosti ot dozimetricheskikh pokazatelei po otnosheniyu k clostridium spp / D.R. Orynbekov, A.N. Nurgazezova, G.N. Nurymkhan // Vestnik Universiteta Shakarima. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 3(15). – S. 215-222. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-29. (In Russian).
3. Radiation surface antimicrobial processing of poultry meat and by-products using the nanosecond low-energy electron beam / R.A. Vazirov et al // Radiation Physics and Chemistry. – 2024. – № 217. – R. 111528. (In English).
4. Kodeks Alimentarius. Obluchennye produkty pitaniya. Sovmestnaya programma FAO/VOZ po standartam na pishchevye produkty. – M.: Ves' Mir, 2007. (In Russian).
5. Қalibeқyzy ZH.K. Sravnitel'nyi analiz kachestva sushenoi shchuki s ispol'zovaniem tokov svch i sushkoi goryachim vozdukhom / ZH.K. Қalibeқyzy, F.KH. Smol'nikova // Vestnik Universiteta Shakarima. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 2(14). – S. 278-285. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-34. (In Russian).
6. Orynbekov D.R. Tөmengi sortty etti fermenttik preparattarmen biotekhnologiyalyқ өңdeu / D.R. Orynbekov, K.ZH. Amirkhanov // Vestnik Universiteta Shakarima. Tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 1(13). – S. 281-286. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-1(13)-35. (In Kazakh).

7. Jantaranikorn M. Reduction of red blood spots in cooked marinated chicken breast meat by combined microwave heating and steaming / M. Jantaranikorn, K. Thumanu, J. Yongsawatdigul // Poultry Science. – 2023. – T. 102, № 1. – R. 102317. (In English).
8. Lajnaf R. Introductory Chapter: Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Food Processing / R. Lajnaf // Food Processing and Preservation. – IntechOpen, 2023. (In English).
9. Marra F. Combining computer aided food engineering and electro-heating applications as contribution to food processing sustainability / F. Marra // Frontiers in Sustainability. – 2023. – T. 4. – R. 1170467. (In English).
10. Promezhutochnyi otchet PTSF za 2024 god https://is.ncste.kz/object/view/bHRUVXhnSnZWWGIzRy9RWjRwTGxJUT09. (In Russian).

N.R. Muslimova[1]*, G.N. Nurymkhan[1], Zh.E. Ozbekova[2]
[1]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20A Glinki Street
[2]Manas Kyrgyz-Turkish University,
Republic of Kyrgyzstan, Bishkek
*e-mail: muslimova.n.r@mail.ru

OPTIMAL PARAMETERS FOR PROCESSING BEEF USING THE ILU-10 ELECTRON ACCELERATOR AND THEIR EFFECT ON SHELF LIFE

Long-term preservation of the quality of meat and meat products is a complex task influenced by numerous factors, including physicochemical processes, microbial activity, and changes in sensory characteristics. In this regard, radiation processing is considered a promising method in the meat industry due to its ability to ensure microbiological safety. This study focuses on evaluating the effectiveness of using low-energy electron irradiation.

In the experimental part of the study, beef samples were irradiated using the ILU-10 accelerator, which emits nanosecond electron beams with energy less than 5 MeV. The beef samples were treated at doses of 3, 6, and 9 kGy. The results showed that a dose of 3 kGy led to a significant reduction in microbial contamination, particularly eliminating pathogenic microorganisms from the surface of the meat. The application of the optimal radiation dose prevented microbial growth throughout the storage period. Moreover, irradiation at a dose of 3 kGy did not significantly affect the integral quality indicators of the product. The findings confirm that radiation processing using an electron accelerator has the potential to extend the shelf life of food products. Thus, radiation treatment with an electron accelerator can be an effective tool for ensuring the safety of meat products and extending their shelf life.

Key words: *electron accelerator, radiation processing, optimal processing parameters, shelf life, microbiological safety.*

Н.Р. Муслимова[1]*, Г.Н. Нурымхан[1], Ж.Э. Озбекова[2]
[1]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казакстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
[2] Кыргызско-Турецкий Университет Манас,
Республика Кыргызстан, Бишкек
*e-mail: muslimova.n.r@mail.ru

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОБРАБОТКИ ГОВЯДИНЫ НА ЭЛЕКТРОННОМ УСКОРИТЕЛЕ ИЛУ-10 И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СРОК ХРАНЕНИЯ

Долговременное сохранение качества мяса и мясных продуктов является сложной задачей, зависящей от множества факторов, включая физико-химические процессы, активность микроорганизмов и изменения органолептических характеристик. В связи с этим радиационная обработка рассматривается как перспективный метод в мясной промышленности благодаря своей способности обеспечивать микробиологическую безопасность. Данное исследование направлено на изучение эффективности применения низкоэнергетического электронного излучения.

В экспериментальной части исследования были облучены образцы говядины на ускорителе ИЛУ-10, излучающем наносекундные электронные пучки с энергией менее 5 МэВ. Образцы говядины были обработаны в дозах 3, 6 и 9 кГр. Результаты показали, Муые показатели качества продукции. Полученные результаты подтверждают, что радиационная обработка с использованием электронного ускорителя обладает потенциалом для увеличения срока хранения пищевых продуктов. Таким образом, радиационная обработка с помощью электронного ускорителя может служить эффективным средством обеспечения безопасности мясной продукции и увеличения срока ее хранения.

Ключевые слова: *электронный ускоритель, радиационная обработка, оптимальные параметры обработки, срок хранения, микробиологическая безопасность.*

Авторлар туралы мәліметтер

Назерке Рахифовна Муслимова* – техника ғылымдарының магистрі, «Тамақ технологиясы» кафедрасының докторанты, Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: muslimova.n.r@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2536-0590.

Гүлнұр Несіптайқызы Нұрымхан – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ технологиясы» кафедрасының қауымдас.профессоры, Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: gulnu-n@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Жылдызай Эрназаровна Озбекова – PhD, доцент м.а., Манас Қырғыз-Түрік университеті, Қырғызстан Республикасы; e-mail: zhyldyzai.ozbekova@manas.edu.kg. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2471-5006.

Сведения об авторах

Назерке Рахифовна Муслимова* – магистр технических наук, докторант кафедры «Пищевых технологий», Шәкәрім университет, Республика Казакстан; e-mail: muslimova.n.r@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2536-0590

Гулнур Несиптаевна Нурымхан – кандидат технических наук, ассоц.профессор кафедры «Пищевых технологий», Шәкәрім университет, Республика Казакстан; e-mail: gulnu-n@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Жылдызай Эрназаровна Озбекова – PhD, и.о. доцента, Кыргызско-Турецкий Университет Манас, Республика Кыргызстан; e-mail: zhyldyzai.ozbekova@manas.edu.kg. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2471-5006.

Information about the authors

Nazereke Muslimova – Master of Technical Sciences, Doctoral Student at the Department of Food Technologies, Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: muslimova.n.r@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2536-0590.

Gulnur Nurymkhan – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Food Technologies, Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: gulnu-n@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Zhyldyzai Ozbekova – PhD, Acting Associate Professor, Kyrgyz-Turkish Manas University, Republic of Kyrgyzstan; e-mail: zhyldyzai.ozbekova@manas.edu.kg. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2471-5006.

Редакцияға енуі 02.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 11.08.2025
Жариялауға қабылданды 18.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-39

BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 65.63.39

Б.С. Туганова*, Д.А. Жусупбаева, А.Ж. Агибаева
Торайғыров университеті,
140003, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломова көшесі, 64
*e-mail: tuganova65@inbox.ru

ЕШКІ ЖӘНЕ ҚОЙ СҮТІНІҢ НЕГІЗІНДЕ ЖАСАЛҒАН «КЕРЕКУ» ҰЛТТЫҚ ЖҰМСАҚ ІРІМІШІК ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ

Аңдатпа: *Осы мақалада жергілікті және басқа тұқымды қой сүтінің ірімшік жарамдылығына жүргізілген эксперименттік зерттеулердің нәтижелері және қой мен ешкі сүтінің қоспасынан ұлттық үй жұмсақ ірімшігінің жаңа түрін өндіру технологиясын жетілдіру туралы баяндалған. ҒЗЖ бірінші кезеңінде ұлттық сүт – ақуыз өнімдерін, оның ішінде ұлттық жұмсақ ірімшік түрлерін өндіру технологиясының даму тенденциясы мәселелері бойынша ғылыми-техникалық және патенттік әдебиеттерге шолу жасалды. Әрі қарай, ешкі мен қойдың жергілікті және де басқа тұқымды жануарлардың сүтінің ірімшікке жарамдылығына эксперименттік зерттеулер жүргізілді. «Горноалтай» тұқымының ешкі сүті және «Қазақ Солтүстік мериносының» аборигендік тұқымының қойлары, ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігінің жаңа түрін өндіру үшін негізгі шикізат ретінде таңдалды. Ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ*

үй ірімшігінің жаңа түрін алу үшін әр түрлі ашытқылар мен ферменттерді қолдана отырып, ірімшікке жарамды сүтті коагуляциялау процесі зерттелді. Ұю процесі 37-38^{0}С 40-60 мин температурада жүргізілді. Нәтижелер мұндай «lactoferm ECO ашытқы» ферментінің Natural Rennet өте жоғары сүт ұю белсенділігіне ие екенін көрсетті. Ешкі мен қой сүтінің қоспасынан ұлттық жұмсақ үй ірімшігі «Кереку» үшін функционалды қоспа ретінде құрғақ соя сүтінен жасалған соя пастасы да қолданылды және оның өнімнің ірімшік қоспасындағы концентрациясы анықталды. Бұл жағдайда 8-10% соя пастасы бар жұмсақ ірімшік үлгілері таңдалды. Соя пюресі мөлшерінің 10% - дан асуы органолептикалық көрсеткіштердің нашарлауына, яғни соя компонентінің шамадан тыс айқын дәміне әкелетіні анықталды. Дайын өнімнің сапалық көрсеткіштерін айқындай отырып, екі нұсқада ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігінің жаңа түрін өндірудің рецептурасы мен технологиялық процесі әзірленді.

Түйін сөздер: *қой сүті, ешкі сүті, ешкі және қой сүтінің қоспасы, құрғақ соя сүтті, ірімшікке жарамдылығы, мәйекті - ашыту сынамасы.*

Кіріспе

Дәстүр бойынша, отандық ірімшік ұзақ өндіріс циклі бар қатты ірімшіктерді өндіруге маманданған. Сондықтан олармен бірге қысқа пісетін немесе піспейтін ірімшіктер жасаған жөн. Перспективалы бағыт-жұмсақ қышқыл-жасыл ірімшіктер өндірісі. Олар жоғары тағамдық және биологиялық құндылыққа ие, жетілусіз өндіріледі, оларды өндіруді ұйымдастыру үлкен күрделі салымдарды қажет етпейді және кез-келген жұмыс істейтін кәсіпорында мүмкін [1].

Отандық ірімшік жасаушылар үшін осындай типтегі жұмсақ жаңа ірімшіктер мен ірімшік өнімдерін өндіруді ұйымдастырудың артықшылықтары: бұл Қазақстан нарығы үшін салыстырмалы түрде жаңа өнім; жұмсақ ірімшіктердің өнімділігі өте жоғары, бұл оларды өндіруді үнемді етеді; ірімшіктің бұл түрі Тұрақты және тұрақты сұранысқа ие. Бүгінгі таңда Қазақстанның азық-түлік нарығында ірімшік сұранысының қалыптасқан тенденциялары отандық өнімдерге сәйкес келмеуі осы өнімді өндірудің жоғары әлеуетін көрсетеді [2].

Ел халқының тамақтану құрылымындағы өзгерістерге және ақуыз тапшылығына сәйкес ақуыз ресурстарын азық-түлік мақсаттарына пайдалануды ұлғайту, соның ішінде қосымша сүт шикізаты-ешкі немесе қой сүті негізінде жасалған ұлттық ірімшік ірімшіктерінің жаңа түрлерін жасау мәселесіне көбірек көңіл бөлінуде. Бүгінгі таңда қой және ешкі шаруашылығы мал шаруашылығының негізгі салаларының бірі және қазақтардың дәстүрлі кәсіптерінің бірі болып табылады, өйткені климаттық жағдайлар жануарлардың осы тобына жақсы сәйкес келеді.

ҚР Ұлттық статистика бюросының деректері бойынша, Қазақстанда 2025 жылғы 1 наурыздағы жағдай бойынша қой саны 9,7%-ға, 19,043 млн басқа дейін өсті. Ешкілердің саны 2,1%-ға, 1,786 млн басқа дейін төмендеді. Елімізде сүт өнімдерін өндіру көлемі: 31,1 мың тонна сары май, 43,8 мың тонна ірімшік пен сүзбе және 598,6 мың тонна өңделген сүт пен кілегей [3].

Бүгінгі күні жұмсақ ірімшіктерді тұтыну өсті. Бұл өнім әртүрлі тағамдарды дайындау үшін қолданылады, сонымен қатар дайын күйінде тұтынылады. Кальцийдің, фосфордың жоғары мөлшері диетаға, әсіресе балалар мен қарт адамдарға жұмсақ ірімшіктерді қосудың маңыздылығын анықтайды. Сүтті теңдестірілген өнімді алу үшін жануар мен өсімдік тектес сүтті біріктіріп, олардың бірегей пайдалы қасиеттерін біріктіріп, яғни аралас қоспаны жасау қажет. Жануарлар мен өсімдік тектес компоненттерді біріктіру өте перспективалы бағыт болып табылады, өйткені ол биологиялық құндылығы жоғары азық-түлік өнімдерін жасауға мүмкіндік береді [4].

Бүгінгі күні жұмсақ ірімшіктерді тұтыну өсті. Бұл өнім әртүрлі тағамдарды дайындау үшін қолданылады, сонымен қатар дайын күйінде тұтынылады. Кальцийдің, фосфордың жоғары мөлшері диетаға, әсіресе балалар мен қарт адамдарға жұмсақ ірімшіктерді қосудың маңыздылығын анықтайды. Сүтті теңдестірілген өнімді алу үшін жануар мен өсімдік тектес сүтті біріктіріп, олардың бірегей пайдалы қасиеттерін біріктіріп, яғни аралас қоспаны жасау қажет. Жануарлар мен өсімдік тектес компоненттерді біріктіру өте перспективалы бағыт болып табылады, өйткені ол биологиялық құндылығы жоғары.

Ешкі мен қой сүтінен немесе олардың қоспасынан піспейтін Ұлттық жаңа піскен жұмсақ ірімшіктер технологиясын жасау ерекше қызығушылық тудырады. Ғылыми жобаны жүзеге асыру аясында әртүрлі үй жануарларының сүтінен жасалған жұмсақ ірімшіктердің ұлттық түрлерін өндіру технологиясының даму тенденциясы мәселелері бойынша патенттік іздеу. Біз отандық және халықаралық журналдарда жарияланған ғылыми жұмыстардың нәтижелері бойынша шағын талдау жасаймыз. Атап айтқанда, Солтүстік Кавказ федералды

университетінің ғалымдары ақуызбен байытылған жұмсақ ірімшіктерді өндіру технологиясын әзірлеуде. Технологияның негізінде ақуыз құрамын теңестіру және дайын өнімді алу үшін табиғи шикізатты мембраналық фракциялау жатыр. Жұмсақ ірімшіктер тағамдық құндылығын жақсарту үшін ақуыз компоненттерімен қосымша байытылуы керек, өйткені сүт өніміндегі ақуыз оған бай дәм беріп қана қоймайды, сонымен қатар остеопорозбен ауыратын адамдар үшін алдын-алу қызметін атқарады [5].

Сондай-ақ, ешкі сүтін шикізаттың балама түрі ретінде пайдалану мәселесін шешу, бұршақ пен жасымық түріндегі бұршақ толтырғышымен ешкі сүтінен жасалған жұмсақ ірімшіктің формуласын әзірлеу, дайын ірімшіктегі негізгі қоректік заттардың өзгеруін зерттеу сипатталған. Жұмыста ешкі ірімшігін өндіруде бұршақ толтырғыштарын қолдану тиімділігінің ғылыми негіздемесі жүргізіледі. Күтілетін нәтиже - функционалдық бағыттағы өнімді өндіру [6].

Сүт сарысуын терең өңдеудің заманауи тәсілдерін зерттеу және әзірлеу және функционалдық бағыттағы табиғи төмен калориялы тағам өнімдерін сүт сарысуы негізінде өндіру жүргізілді. Зерттелетін тағам ретінде сарысуы бар жұмсақ ірімшік таңдалды. Алынған Сарысу ірімшігінің үлгілері құрамы бойынша зерттелген, олардың энергетикалық құндылығы мен аминқышқылдарының құрамы анықталған. Алынған мәліметтер бойынша зерттелетін ірімшіктердің пайдалылығы мен сапасын бағалауға болады [7].

Осы жұмыстың мақсаты: соя сүтін пайдалана отырып, ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ ірімшігін өндірудің технологиялық процесін әзірлеу және жетілдіру. Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер анықталды:

– Павлодар өңірінің ешкі мен қой сүтінің ірімшікке жарамдылығына зерттеулер жүргізу;

– өсімдік тектес қоспаларды іріктеу және негіздеу-ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ ірімшігінің рецептурасындағы функционалдық компоненттер ретінде;

– ешкі мен қой сүтінің қоспасынан ұлттық «Кереку» өндірісінде сүт-ақуыз ұйығышын алу мақсатында түрлі ашытқылар мен бүйрек ферменттерін пайдалана отырып, ешкі мен қой сүтінің қоспасын ұю процесін зерттеу;

– ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ ірімшігінің рецептурасын және оны өндірудің технологиялық процесін әзірлеу;

– дайын өнімнің сапасын айқындай отырып, «Торайғыров университеті» КЕАҚ зертханалық жағдайында ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ ірімшігінің жаңа түрін сынақтан өткізу және тәжірибелік үлгілерін әзірлеу.

Ғылыми жаңалық. Ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық үй жұмсақ ірімшігі технологиясын әзірлей отырып, Павлодар өңірінің ешкі мен қой сүтінің ірімшікке жарамдылығын зерттеу.

Практикалық маңыздылығы. Ешкі мен қой сүтінің қоспасынан жасалған «Кереку» ұлттық үй жұмсақ ірімшігінің жаңа түрінің рецептурасы және жетілдірілген технологиялық процесі.

Бүгінгі таңда ірімшік өндірісінде сиыр сүтін ғана емес, сонымен қатар ешкі мен қой сүтін оның құнды гипоаллергенді және биологиялық қасиеттеріне байланысты қолдану орынды және негізделген болып көрінеді. Ешкі сүті сиырға қарағанда адам ағзасының физиологиялық ерекшеліктеріне сәйкес келетіні белгілі. Аллергиямен ауыратындар көбінесе сиыр сүтінің ақуызына төзбейді. Ешкі сүтіндегі ақуыз адам ағзасына оңай сіңеді. Минералды тұздар ешкі сүтінде белгілі бір қатынаста және тепе-теңдікте болады. Сиырмен салыстырғанда сүтте 6 есе көп кобальт бар, ол B_{12} витаминінің құрамына кіреді, кальций, магний, темір, марганец және мыс көп; аскорбин қышқылы − 1,5, ал никотин (РР дәрумені) – сиырға қарағанда 3 есе көп.

Ешкі сүтінің ферменттерді коагуляциялау қабілеті төмен, бұл белгілі бір дәрежеде ақуыздың фракциялық құрамымен және титрленетін қышқылдықтың төмендеуімен түсіндіріледі, сондықтан жұмсақ ірімшік технологиясын әзірлеу кезінде бактериялық ашытқылар мен кальций хлоридінің жоғары дозалары қолданылады. Осының арқасында ұйытынды синерезисі және оны әрі қарай өңдеу кезінде ірімшік массасының дегидратациясы жақсарады.

Павлодар облысына «Тау-Алтай» ешкі тұқымы (01.01.2022 ж. 4626 бас) әкелінді және өсірілді. Бұл ешкі тұқымының сүт өнімділігі лактация бойы 90-100 кг сүтті құрайды, орташа тәуліктік сүт өнімділігі 500-550 гр.

Тау-Алтай ешкі тұқымы 1944 жылы Алтай Республикасында жергілікті ешкілерді Придон ешкілерімен және ангора ешкілерімен кесіп өту арқылы өсірілді. Көп жылдық жұмыс нәтижесінде Алтай-Придон ешкілері алынды, олар Придон және жергілікті ешкілерден өнімді және конституциялық қасиеттерімен ерекшеленді. Тұқым 1982 жылы бекітілген.

Қазіргі уақытта ешкілерді жергілікті Тау-Алтай тұқымы сіңіреді. Тау жынысы Таулы Алтайдың орталық және оңтүстік-шығыс аймақтарында, сондай-ақ Еуропа, Қазақстан, Моңғолия, Қытай, Ресей елдерінде кең таралған [8].

Павлодар облысынын әкімшілік деректеріне сәйкес, Аққулы ауданы қой шаруашылығы, жылқы шаруашылығы және бақша шаруашылығы сияқты салаларда ауыл шаруашылығына маманданған. Сондай-ақ, шаруалар тары, күнбағыс өсіреді, ет, сүт, ұсақ тері шикізатын өндіреді. Ауданда ауыл шаруашылығы өнімін өндірумен 10 ауыл шаруашылығы, 172 шаруа қожалығы айналысады, 4330-дан астам жеке аулалар бар. Ауданда 9 наубайхана мен 1 сүт өңдеу цехы жұмыс істейді.

Ауданның даму тарихын ескере отырып, АӨК дамытудың 2022-2026 жылдарға арналған бағдарламасына қой шаруашылығын дамытудың салалық бағдарламасын іске асыруды, атап айтқанда-Меринос тұқымды қойларды өсіруді енгізу қажет. Қазақ мериносының қой тұқымы ұзақ мерзімді, селекциялық-асылдандыру жұмыстарының нәтижесінде өсірілді, оның Конституциясы мықты және салмағы зор. Меринос жүнінің сапалық көрсеткіштерімен таратылады, ол өте қымбат деп бағаланады, ал қой сүті мен оның өңделген өнімдеріне сұраныс жыл сайын артып келеді [9].

Қой сүті адам ағзасына тигізер пайдасы мол. Оның құрамында жүзден астам жұғымды заттар бар. Мәселен, қой сүтінде 6-8% май, 4-6% ақуыз, 4,6% қант және 0,8% минералдық зат бар. Қой сүттің құрамы сиыр сүтіне ұқсас, бірақ оның дәрумендері мен ақуызы көп. Сиыр сүтін адам ағып тұрған кезде ақуыздарының 92% сіңіріледі, ал қойда – 99%. Өнім табиғи түрінде көптеген ауруларды емдеуге қолданылады. Оның емдік әсерін Ежелгі Шығыстың емшілері байқаған.

Қой сүтінде физиологиялық маңызды май қышқылдарының мөлшері өте жоғары – мысалы, линол, линолен және арахидон. Бактерицидтік және иммуномодуляциялық қасиеттері бар басқа ауылшаруашылық жануарларының сүтімен салыстырғанда лактоферрин сарысуы ақуызының жоғары мөлшері қой сүтін балалар тағамы өнімдерін алу және оның негізінде функционалды өнімдер жасау мақсатында шикізат ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Қой сүтінде көмірсулардың мөлшері жоғары (шамамен 5,1%), олар қой сүтіне негізделген сүт өнімдерін өндіруде қолданылатын пайдалы микроорганизмдердің дамуына ықпал ететін лактозамен ұсынылған. Қой сүтінің минералды құрамы негізінен биожетімді кальцийден тұрады, ол адамның тамақтануы мен сүйек тінін сақтау үшін қажет [10].

Яғни, Павлодар облысының ірі шаруашылықтары сапалы, экспортқа бағдарланған өнім – ұсақ мал – ешкі мен қойдың асыл тұқымды тұқымдарынан ет пен сүт өндіруді ұлғайтуға бағытталған (1 сурет).

Сурет 1 – Павлодар өңірінің ешкі мен қойлары

Зерттеу әдістемелері мен материалдар

Зерттеу материалдары: ешкі және қой сүті, соя сүті, жұмсақ ірімшіктерге арналған ашытқылар мен ферменттер, түрлі дәмдеуіштер (насыбайгүл, тимьян, ақжелкен, балдыркөк, кептірілген аскөк, кептірілген сарымсақ және т. б.) және йодталған тұз

Зерттеу әдістемелері ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындау барысында сүт шикізатының физика-химиялық және микробиологиялық көрсеткіштері мен "Кереку" ұлттық үй жұмсақ ірімшігінің тәжірибелік үлгілеріне зерттеулер жүргізілді. Зерттеулер стандартты әдістер бойынша жүргізілді.

МЕСТ 32940-2014 Шикі ешкі сүті. Техникалық шарттар

ТН және ТШ 10.51.11-154-37676459-2019 Пастерленген ішуге жарамды қой сүті

ҚР СТ ISO 707-2011 сүт және сүт өнімдері. Қабылдау ережелері, Сынама алу әдістері және талдау үшін үлгілерді дайындау.

ҚР СТ 707-2011 сүт және сүт өнімдері. Сынама алу әдістері бойынша нұсқаулық
ҚР СТ ISO 6091-2015 Сүт. Қышқылдықты анықтау әдісі
ҚР СТ ISO 8968-1-2014 сүт және сүт өнімдері. Кьельдаль әдісімен ақуызды анықтау
ҚР СТ ISO 488-2009 сүт. Майдың массалық үлесін анықтау әдісі
ҚР СТ 3659-2020 сүт. Сүт өнеркәсібін өндіруге арналған микробиологиялық талдау және бақылау әдістері
МЕСТ ISO 11815-2015. Сүт. Сүттің қан ұюының белсенділігін анықтау

Зерттеу нәтижелері

Бүкілресейлік май және ірімшік жасау ғылыми-зерттеу институты (VNIIMS) мамандарының айтуынша, сүттің ірімшікке жарамдылығы химиялық құрамы, физика-химиялық, технологиялық және биологиялық қасиеттерінің көрсеткіштерімен сипатталады. Сүтте ақуыз (≥ 3,2 %), май (≥ 3,6 %), ҚСМҚ (≥ 8,4%) көп болуы керек. Табиғи жұмсақ ірімшік өндіру үшін сүт шикізатына қойылатын негізгі талаптар 1 кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Табиғи ірімшігін өндіруге арналған сүт шикізатына қойылатын негізгі талаптар

Корсеткіштер	Ешкі сүті	Қой сүті
Майлығы, %	3,6	4,5
Ақуыз,%	3,2	5,4
Құрғақ сүтті майсыз қалдық, %	8,1	10,2
Тығыздығы, кг/м	1028,0	1032,0
Титрлік қышқылдығы, ^{0}Т	17-28	20-28

«Кереку» ұлттық үй жұмсақ ірімшігінің жаңа түрін өндіру мақсатымен, негізгі сүт шикізаты ретінде Павлодар өңірінде ең кен таралған «Тау – Алтай» ешкі тұқымы және «Қазақ Солтүстік меринос» аборигендік қой тұқымдарының сүттері таңдалды.

Жүргізілген зерттеулер барысында «Кереку» ұлттық үй жұмсақ ірімшігінің жаңа түрін өндіруіне арналған ешкі мен қой сүті 2025 жылдың ақпан – наурыз айларында бірінші лактация кезінде 3 тобынан алынды. Ешкі мен қой сүті әр жануардан лактацияның 3-ші айында таңертеңгі сауу кезінде (6 реттік саулады) жеке алынды.

1 кестеде корсетілген сүт шикізатына қойылатын негізгі талаптарға сәйкес таңдалған «Тау – Алтай» тұқымды ешкі мен «Қазақ Солтүстік меринос» аборигендік қой сүтінің салыстырмалы сапалық сипаттамалары мен ірімшікке жарамдылығы бойынша КЕАҚ «Торайгыров университет» «Биотехнология» кафедрасының ғылыми – зерттеу зертханасы жағдайында эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Зерттеу кезіндегі алынған нәтижелер 2 кестеде корсетілген.

Кесте 2 – Ешкі мен қой сүтін салыстырмалы салық корсеткіштері

Корсеткіштер	Ешкі сүті	Қой сүті
Майлығы, %	3,8	5,2
Ақуыз,%	3,6	5,7
Құрғақ сүтті майсыз қалдық, %	8,7	11,4
Тығыздығы, кг/м	1029,0	1033,0
Титрлік қышқылдығы, ^{0}Т	21	22

2 кестеде корсетілген нәтижелер бойынша, ешкі мен қой сүтін салыстырмалы сапалық корсеткіштері табиғи ірімшігін өндіруге арналған сүт шикізатына қойылатын негізгі талаптарға сәйкес келетінін дәлелдейді.

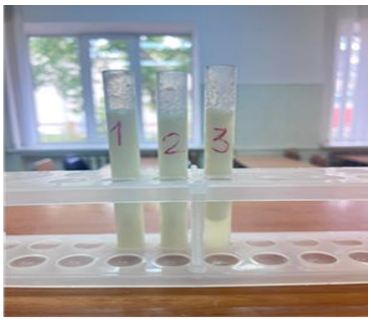
Ары қарай зерттеулер барысында ешкі мен қой сүтінің ірімшікке жарамдылығын бағалау үшін жүргізілген мәйекті-ашыту сынамасының нәтижелері бойынша мынадай нәтижелер алынды (3-кесте).

Зерттеу нәтижелері «Кереку» ұлттық үй жұмсақ ірімшігін жасау үшін ең қолайлы сүт - ешкі сүті және ешкі мен қой сүтінің қоспасы (50 : 50) екенін көрсетеді. (2 сурет).

«Қазақ Солтүстік мериносы» аборигендік тұқымды қойлардың сүті шартты түрде ірімшікке жарамды болып шықты, өйткені сиырлардың бұл тұқымы негізінен ет – жүн бағытында. Осылайша, жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігін жасау үшін «горноалтай» ешкі сүті немесе оның шартты түрде ірімшікке жарамды қой сүтімен қоспасы жақсы деп қорытынды жасауға болады.

Кесте 3 – Сүтінің ірімшікке жарамдылығын бағалау үшін жүргізілген мәйекті-ашыту сынамасының нәтижелері

Сүттін түрі	Сүтінің ірімшік жасау жарамдылығы	Сүттін сапасы	Ұйытынды сипаттамасы
Ешкі сүті	I	Жоғары	Ұйытынды тығыз, беті тегіс, қол тигізгенде серпімді, көзсіз бойлық кесіндіде сарысу бөлінбейді
Қой сүті	II	Қанағаттанарлық	Ұйытынды қалыпты, беті тегіс, серпімді, көздің бойлық бөлігінде жоқ, сарысудың қарқынды бөлінуі байқалады
Ешкі мен қой сүтінін қоспасы	I	Жақсы	Ұйытынды тығыз, беті тегіс, қол тигізгенде серпімді, көзсіз бойлық кесіндіде сарысудын бөлінгені байқалады



Сурет 2 – Ешкі, қой және сүт қоспасының мәйекті – ашыту сынамасының үлгілері
1) ешкі сүті 2) сүт қоспасы 3) қой сүті

Сондай-ақ, 40-60 мин аралықта 37-38 ^{0}С температурада ірімшікке жарамды сүт қоспасын ашыту процесіне эксперименттік зерттеулер жүргізілді.алынған нәтижелер бойынша мұндай ферменттің «Lactoferm ECO» ашытқы «Natural Rennet» сүтті коагуляциялау белсенділігі өте жоғары екендігі анықталды. 8 сағат ішінде сиыр сүтін коагуляциялау кезінде титрленетін қышқылдықтың өзгеру динамикасы көрсеткіштер берілген процеске сәйкес келетін максималды мәнге жетті. Ферменттік препараттардың сүт ұю белсенділігін зерттеу ГОСТ ISO 11815-2015 талаптарына сәйкес жүргізілді. Сүт. Ферменттің жалпы сүт ұю белсенділігін анықтау [11].

Эксперименттік деректерді талдау «Lactoferm ECO ферменті» natural Rennet – бұл сардиниялық қозылардың асқазанынан алынған «Natural Rennet» қой мйегі. Құрамы: коагуляциялық белсенділік: химозин 75%, пепсин 25%. Сонымен қатар, «Vivo» сұйық ферменті (өндірілген Украина). Құрамы: микробтық фермент – химозин. Нәтижелер бойынша «Lactoferm ECO» сияқты ферменттің сүтті коагуляциялау белсенділігі өте жоғары екендігі анықталды. Ешкі мен қой сүтінің қоспасын коагуляциялау кезінде титрленетін қышқылдықтың өзгеру динамикасы, яғни 65 минут ішінде бұл көрсеткіштер максималды көрсеткішке жетті. Әрі қарайғы ғылыми зерттеулерде «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігін өндіру үшін ешкі мен қой сүтінің қоспасы және «Lactoferm ECO» Natural rennet (итальяндық фермент) қолданылды.

Нәтижелер сонымен қатар «Natural Реннет» және «Lactoferm ECO» ашытқысы сияқты ферменттің әртүрлі сүт қоспаларын коагуляциялау белсенділігі өте жоғары екендігі анықталды. Ешкі мен қой салатының (50/50) ірімшікке жарамды сүт қоспасын коагуляциялау кезінде титрленетін қышқылдықтың өзгеру динамикасы максималды көрсеткішке жетті және тығыз сүт – ақуыз ұйығышын алды. Өсімдік шикізатының белгілі бір түрін пайдалану бағытын таңдау үшін органолептикалық сипаттамалары, химиялық құрамы және қауіпсіздік көрсеткіштері өте маңызды. Өсімдік компонентін құрғақ соя сүті негізінде әзірленген соя езбесін енгізу арқылы ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігі өндірісінде алынған өнімді өндіру шығындарын азайтуға болады.

Соя сүті – соядан жасалған өсімдік тектес өнім. Ол макро- және микроэлементтерге, ақуызға, тиаминге, пиридоксинге, B_{12} және Е дәруменіне бай. Соя сүті сиырдан төмен жалғыз нәрсе-бұл кальцийдің өте аз мөлшері, бірақ өндірушілер бұл кемшілікті осы микроэлементпен жасанды түрде байыту арқылы өтейді. Соя сүтіндегі цианокобаламин қан айналым жүйесіне оң әсер етеді және тиамин мен пиридоксинмен бірге жүйке жүйесі мен метаболикалық

процестердің жұмысын жақсартады. Бұл өнімге бай Е дәрумені ісіктердің дамуына жол бермейді және ерте қартаюдың алдын алады [12].

Эксперименттік зерттеулер барысында жұмсақ ірімшіктің органолептикалық көрсеткіштерін арттыратын және ірімшік қамырының тығыздығын төмендетпейтін құрғақ соя сүтінің дозасын таңдау қажет болды. Құрғақ соя сүтінен әзірленген соя езбесін қолдану дозасын анықтау үшін 2% қадаммен өсімдік қоспасының 2-ден 10-ға дейінгі дозасы бар жұмсақ ірімшіктердің үлгілері жасалды. Бұл жағдайда 8-10% мөлшерінде құрғақ соя сүті бар жұмсақ ірімшіктің үлгілері бөлінді. Өсімдік толтырғышының 10%-дан жоғары дозасы артқан кезде органолептикалық көрсеткіштердің нашарлауына, яғни соя компонентінің шамадан тыс айқын дәміне әкелетіні анықталды.

Осылайша, құрғақ соя сүті қосылған ұлттық жұмсақ үй ірімшігі үлгілерінің 8-10%-ы дәстүрлі жұмсақ ірімшіктің нормативтік органолептикалық көрсеткіштеріне толық сәйкес келеді деп санауға болады.

Зерттеу нәтижелерін талқылау

Осылайша, осы кезеңде ҒЗЖ өнімді диеталық талшықтармен байыту үшін соя пастасы қосылған ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігінің жаңа түрінің рецептурасын әзірледі. Сондай-ақ, ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігін алудың дәстүрлі технологияларын ескере отырып, оларды өндірудің технологиялық режимдері мен параметрлері түзетілді. ҒЗЖ жүргізу барысында «Торайғыров университеті» КЕАҚ «Биотехнология» кафедрасының зертханалық жағдайында ешкі мен қой сүтінің қоспасынан, соя езбесі қосылған «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігінің тәжірибелік үлгілері (2 нұсқа) әзірленді және олардың сапалық көрсеткіштері зерттелді.

Қорытынды

Жобаның мақсаттары мен міндеттеріне сәйкес жұмыстың келесі кезеңдері орындалды: Ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігін жасау мақсатында Павлодар өңірінің ешкі мен қой сүтінің ірімшікке жарамдылығы зерттелді, түрлі ашытқылар мен мәйекті ферменттерін пайдалана отырып, іріктелген ірімшікке жарамды сүтті ұю процестері зерттелді, сондай-ақ дайын өнімнің сапасын айқындай отырып, оны өндірудің рецептурасы мен технологиялық процесі әзірленді.

«Горноалтай» тұқымының ешкі сүті және «Қазақ Солтүстік меринос» аборигендік тұқымының қойлары ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігінің жаңа түрін өндіру үшін негізгі шикізат ретінде таңдалды.

Ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігін алу үшін функционалды қоспа ретінде құрғақ соя сүтінен жасалған соя пастасы да қолданылды және оның өнімнің ірімшік қоспасындағы концентрациясы анықталды. Бұл жағдайда 8-10 % соя пастасы бар жұмсақ ірімшік үлгілері таңдалды. Соя езбесінін мөлшерінен 10% - дан жоғарылауы органолептикалық көрсеткіштердің нашарлауына, яғни соя компонентінің шамадан тыс айқын дәміне әкелетіні анықталды.

Ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігінің жаңа түрін алу үшін әртүрлі ашытқылар мен ферменттерді қолдана отырып, ірімшікке жарамды сүтті коагуляциялау процесі зерттелді. Ұю процесі 37-38 ^{0}С 40-60 мин температурада жүргізілді. Алынған нәтижелер бойынша мұндай ферменттің «Lactoferm ECO ашытқы» Natural Реннеттің сүтті ұю белсенділігі өте жоғары екендігі анықталды. Дайын өнімнің сапалық көрсеткіштерін айқындай отырып, екі нұсқада ешкі мен қой сүтінің қоспасынан «Кереку» ұлттық жұмсақ үй ірімшігінің жаңа түрін өндірудің рецептурасы мен технологиялық процесі әзірленді.

Әдебиеттер тізімі

1. Панова Н.М. Биотехнологические основы сыроделия: учебное пособие. – Ставрополь: СКФУ, 2016. – 160 с.
2. Мазина З.К. Анализ рынка сыра в Казахстане и прогноз объема продаж // Журнал Оценка инвестиций. – 2018. – № 1(9). – С. 59-66.
3. Официальные данные Национального бюро статистики Агентство по стратегическому планированию и реформам РК.
4. Чечеткина А.Ю. Разработка технологии мягкого сыра с бобовыми наполнителями // Вестник магистратуры. – 2012. – № 9. – С. 21-26.
5. https://ncfu.ru/novosti/nauka/vkusno-i-polezno-v-skfu-razrabatyvayut-novyy-sposob-proizvodstva-myagkikh-syrov

6. Рудакова А.Ю. Разработка и производство сырных продуктов с растительными компонентами // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 4. – С. 204-209.
7. Исследование и разработка ресурсосберегающей технологии производства мягкого сыра из молочной сыворотки / Г.Н. Жакупова и др. // Вестник Алматинского технологического университета. – г. Алматы: Изд-во АТУ. – 2023. – С. 81-88.
8. https://baibolsyn.kz/ru/stati/kto-i-v-kakih-regionah-vyrashivaet-koz-v-kazahstane/
9. https://agrosektor.kz/agriculture-news/vyshe-merinos!-fermery-rajona-akkuly-pavlodarskoj-oblasti-predlagayut-vnedrit-programmu-po-razvedeniyu-ovec-porody-merinos.html
10. Характеристика овечьего молока как сырья для производства молочных продуктов / К.А. Канина и др. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1(6). – С. 146-158.
11. ГОСТ ISO 11815-2015. Определение общей молокосвертывающей активности говяжьего сычужного фермента. – Введ. 01.01.2017. – М.: Стандартинформ, 2015. – 15 с.
12 Соевое молоко – полезные свойства соевого молока [Электрон. Ресурс.] – Режим доступа: http://polzavred.ru /soevoe-moloko – polza – i – poleznue – svojstva. (дата обращения: 27.02.2025).

References

1. Panova N.M. Biotekhnologicheskie osnovy syrodeliya: uchebnoe posobie. – Stavropol': SKFU, – 2016. – 160 s. (In Russian).
2. Mazina Z.K. Analiz rynka syra v Kazakhstane i prognoz ob"ema prodazh // Zhurnal Otsenka investitsii. – 2018. – № 1(9). – S. 59-66. (In Russian).
3. Ofitsial'nye dannye Natsional'nogo byuro statistiki Agentstvo po strategicheskomu planirovaniyu i reformam RK. (In Russian).
4. Chechetkina A.YU. Razrabotka tekhnologii myagkogo syra s bobovymi napolnitelyami // Vestnik magistratury. – 2012. – № 9. – S. 21-26. (In Russian).
5. https://ncfu.ru/novosti/nauka/vkusno-i-polezno-v-skfu-razrabatyvayut-novyy-sposob-proizvodstva-myagkikh-syrov. (In Russian).
6. Rudakova A.YU. Razrabotka i proizvodstvo syrnykh produktov s rastitel'nymi komponentami // Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv. – 2014. – № 4. – S. 204-209. (In Russian).
7. Issledovanie i razrabotka resursosberegayushchei tekhnologii proizvodstva myagkogo syra iz molochnoi syvorotki / G.N. Zhakupova i dr. // Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta. – g. Almaty: Izd-vo ATU. – 2023. – S. 81-88. (In Russian).
8. https://baibolsyn.kz/ru/stati/kto-i-v-kakih-regionah-vyrashivaet-koz-v-kazahstane/. (In Russian).
9. https://agrosektor.kz/agriculture-news/vyshe-merinos!-fermery-rajona-akkuly-pavlodarskoj-oblasti-predlagayut-vnedrit-programmu-po-razvedeniyu-ovec-porody-merinos.html. (In Russian).
10. Kharakteristika ovech'ego moloka kak syr'ya dlya proizvodstva molochnykh produktov / K.A. Kanina i dr. // Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. – 2023. – № 1(6). – S. 146-158. (In Russian).
11. GOST ISO 11815-2015. Opredelenie obshchei molokosvertyvayushchei aktivnosti govyazh'ego sychuzhnogo fermenta. – Vved. 01.01.2017. – M.: Standartinform, 2015. – 15 s. (In Russian).
12 Soevoe moloko – poleznye svoistva soevogo moloka [Ehlektron. Resurs.] – Rezhim dostupa: http://polzavred.ru/soevoe-moloko – polza – i – poleznue – svojstva. (data obrashcheniya: 27.02.2025). (In Russian).

Б.С. Туганова*, Д. А. Жусупбаева, А.Ж. Агибаева
Торайгыров университет,
140003, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64
*e-mail: tuganova65@inbox.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАЦИОНАЛЬНОГО МЯГКОГО СЫРА ИЗ СМЕСИ КОЗЬЕГО И ОВЕЧЬЕГО МОЛОКА «КЕРЕКУ»

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований сыропригодности молока овец местных и других завезенных пород и совершенствование технологии производства нового вида национального домашнего мягкого сыра из смеси овечьего и козьего молока.

На первом этапе НИР был проведен обзор научно-технической и патентной литературы по проблемам тенденций развития технологии производства национальных молочно-белковых продуктов, в том числе национальных видов мягких сыров.

Далее были проведены экспериментальные исследования сыропригодности молока коз и овец как местных, так и других пород к производству сыра. Козье молоко породы «Горноалтайская» и молоко овец аборигенной породы «Казахский Северный меринос» и из их смесь были выбраны в качестве основного сырья для производства нового вида национального мягкого домашнего сыра «Кереку».

Для получения нового вида национального мягкого домашнего сыра «Кереку» из смеси козьего и овечьего молока был исследован процесс коагуляции молока, пригодного для сыра, с использованием различных заквасок и ферментов. Процесс свертывания проводили при температуре 37-38^{0}С в течении 40-60 мин. Результаты показали, что такой фермент «lactoferm ECO дрожжи» Natural Rennet обладает очень высокой активностью свертывания молока.

В качестве функциональной добавки для национального мягкого домашнего сыра из смеси козьего и овечьего молока также использовалась соевая паста из сухого соевого молока, и была определена его концентрация в сырной смеси продукта.

В этом случае были выбраны образцы мягкого сыра с 8-10% соевой пастой. Установлено, что превышение 10% количества соевого пюре приводит к ухудшению органолептических показателей, то есть излишне выраженному вкусу соевого компонента.

Разработаны рецептура и технологический процесс производства нового вида национального мягкого домашнего сыра «Кереку» из смеси козьего и овечьего молока в двух вариантах, с определением качественных показателей готовой продукции

***Ключевые слова:** овечье молоко, козье молоко, смесь козьего и овечьего молока, сухое соевое молоко**,** сыропригодность, сычужно-бродильная проба.*

B.S. Tuganova*, D.A. Zhusupbayeva, A. Zh. Agibaeva
Toraigyrov University,
140003, Kazakhstan, Pavlodar, 64 Lomova str.
*e-mail: tuganova65@inbox.ru

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF THE NATIONAL SOFT CHEESE MADE FROM A MIXTURE OF GOAT AND SHEEP'S MILK «KEREKU»

This article presents the results of experimental studies on the cheese suitability of sheep's milk of local and other breeds and the improvement of the technology for the production of a new type of national homemade soft cheese from a mixture of sheep and goat milk.

At the first stage of research, a review of scientific, technical and patent literature on the problems of trends in the development of technology for the production of National Dairy and protein products, including national types of soft cheese, was carried out. Further, experimental studies were conducted on the suitability of milk of local and other breeds of goats and sheep for cheese.

Goat milk of the «gornoaltai» breed and sheep of the Aboriginal breed of the «Kazakh Northern Merino» were chosen as the main raw materials for the production of a new type of National soft homemade cheese «Kereku» from a mixture of goat and sheep milk. To obtain a new type of National soft homemade cheese «Kereku» from a mixture of goat and sheep milk, the process of coagulation of milk suitable for cheese using various yeasts and enzymes was studied.

The clotting process was carried out at a temperature of 37-38 0C 40-60 min. The results showed that such an enzyme «lactoferm ECO yeast» Natural rennet has a very high milk clotting activity. Soy paste made from dry soy milk was also used as a functional additive for the National soft homemade cheese «Kereku» from a mixture of goat and sheep milk, and its concentration in the cheese mixture of the product was determined. In this case, samples of soft cheese with 8-10% soy paste were chosen. It was found that exceeding 10% of the amount of soy puree leads to a deterioration in organoleptic indicators, that is, an excessively pronounced taste of the soy component.

The recipe and technological process for the production of a new type of National soft homemade cheese «Kereku» from a mixture of goat and sheep milk in two versions has been developed, determining the quality indicators of the finished product.

***Key words:** sheep's milk, goat's milk, goat's and sheep's milk mixture, soy milk powder, cheese suitability, rennet-fermentation test.*

Сведения об авторах

Бакыт Сагатовна Туганова* – кандидат технических наук, профессор кафедры «Биотехнология», Торайгыров университет, Казахстан; e-mail: tuganova65@inbox.ru. ORCID: https//orcid. org/ 0000-0003-0082-4061.

Алия Жолатовна Агибаева – старший преподаватель кафедры «Биотехнология», Торайгыров университет, Казахстан; e-mail: ag.aliya84@mail.ru. ORCID: https//orcid. org/0000-0002-1748-8933.
Дария Айтуаровна Жусупбаева – докторант кафедры «Биотехнология», Торайгыров университет, Казахстан.

Авторлар туралы мәлеметтер

Бакыт Сагатовна Туганова* – техника ғылымдарының кандидаты, «Биотехнология» кафедрасының профессоры, Торайгыров университеті, Қазақстан; e-mail: tuganova65@inbox.ru. ORCID: https//orcid. org/ 0000-0003-0082-4061.
Алия Жолатовна Агибаева – «Биотехнология» кафедрасының аға оқытушысы, Торайгыров университеті, Қазақстан; e-mail: ag.aliya84@mail.ru. ORCID: https//orcid. org/0000-0002-1748-8933.
Дария Айтуаровна Жусупбаева – «Биотехнология» кафедрасының докторанты, Торайгыров университеті.

Information about the authors

Bakyt Tuganova* – candidate of technical sciences, professor of the department of Biotechnology, Toraigyrov University, Kazakhstan; e-mail: tuganova65@inbox.ru. ORCID: https//orcid. org/ 0000-0003-0082-4061.
Aliya Agibaeva – senior lecturer of the department of Biotechnology, Toraigyrov University, Kazakhstan; e-mail: ag.aliya84@mail.ru. ORCID: https//orcid. org/0000-0002-1748-8933.
Dariya ZHusupbayeva – doctoral student of the department of Biotechnology, Toraigyrov University, Kazakhstan.

Редакцияға енуі 02.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 25.08.2025
Жариялауға қабылданды 27.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-40

МРНТИ: 61.57.35; 65.55.37

BY 4.0
Check for updates

A.T. Abdullayev[1], A.U. Shengisov[2], A.Sh. Azizov[1], T.V. Dubovik[3*]
[1]Tashkent state agrarian University,
Republic of Uzbekistan, Tashkent region, Kibray district, Universitetskaya street, 2.
[2]South Kazakhstan State University named after. M. Auezova,
Republic of Kazakhstan, Shymkent, ave. Tauke Khana, 5.
[3]Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Astrakhan State Technical University” in the Tashkent region of the Republic of Uzbekistan, Tashkent region, Kibray district, Universitetskaya street, 2.
*e-mail: dubovik_tatyana@mail.ru

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF CHITOSAN FROM VARIOUS NATURAL SOURCES FOR USE IN THE FOOD INDUSTRY

Abstract: *in the article the authors present the results of research on the synthesis of chitosan from various sources of raw materials, their molecular weight, physicochemical characteristics, as well as studied their applications in various industries. It is shown that the use of chitosan and its derivatives in food industries as packaging materials contributes to the preservation of freshness of food products and increasing their shelf life when chitosan exhibits high antibacterial and antimicrobial properties. This is especially important for products with short shelf life, such as meat, fish, dairy products, and fresh fruits and vegetables. The use of chitosan as food additives in foods improves the quality and digestibility of products by the human body, and increases their antioxidant properties. Chitosan additives because of their antibacterial and antimicrobial activity help in lowering blood cholesterol levels, improving metabolism and are safe for human health. The ability of chitosan to bind fats in the gastrointestinal tract prevents cardiovascular diseases. Chitosan's antioxidant properties protect the body from free radicals, lower lipid levels, and maintain normal body cells.*

Key words: *chitin, chitosan, natural polysaccharide, crustaceans, bee subpestilence, fungi, mulberry pupae, diacetylation, antimicrobial and antibacterial activity, biocompatibility and biodegradation.*

Introduction

Chitosan is a polymer that is produced by depolymerization of chitin, which is present in the exoskeletons of many invertebrates such as crustaceans, as well as in the cell walls of fungi,

mulberry silkworm pupae and other natural sources. Chitosan has a number of unique physicochemical and biological properties that make it in demand in the medical, pharmaceutical, cosmetic, food and agricultural industries.

The chemical structure of chitosan consists of glucosamine and N-acetylglucosamine, which gives it unique physicochemical properties such as water solubility, biodegradation and antibacterial activity.

However, the properties of chitosan can vary significantly depending on the starting material from which it was obtained. This is due to differences in molecular weight characteristics, structure and degree of degradation of chitin, as well as to the peculiarities of processing of the starting material. In this article, the authors review the molecular weight and physicochemical properties of chitosan obtained from various raw material sources, such as crustaceans, bee subpestilence, mushrooms, mulberry silkworm pupae, and its application in the food industry.

Research Methods

The following research methods were applied to evaluate the molecular weight and physicochemical characteristics of chitosan obtained from different raw material sources:

– Determination of molecular weight by gel permeation chromatography;
– Measurement of the degree of deacetylation by spectrophotometric method;
– Solubility study in aqueous acid solutions;
– Viscosity analysis of chitosan solutions;
– Evaluation of antimicrobial activity.

Results

Chitosan derived from crustaceans. Crustaceans (shrimps, crabs, etc.) are the main source of chitosan production. Chitin extracted from crustacean shells is a polysaccharide composed of N-acetylglucosamine and glucosamine. The process for producing chitosan involves treating chitin in an alkaline medium to remove acetyl groups, which converts it to a more amine polymer.

The molecular weight of crustacean-derived chitosan ranges from 100 to 500 kDa, which makes this chitosan suitable for use in the pharmaceutical industry. Because of its high molecular weight, such chitosan has good mechanical properties, including elasticity and strength.

The solubility of chitosan obtained from crustacean shells in water is rather low, but it improves significantly in slightly acidic media. The degree of deacetylation is about 85%, which is quite high. The antimicrobial activity against Gram-positive bacteria is high, especially against Staphylococcus aureus.

Crustacean-derived chitosan is soluble in acidic solutions (e.g., acetic acid), making it suitable for use in medicine and biotechnology. Crustacean chitosan is characterized by higher crystallinity than chitosan obtained from other sources, which affects its heat resistance. It is highly biocompatible and biodegradable and is actively used in medical applications such as tissue engineering and wound healing [1-3].

Chitosan derived from bee subpestilence. Bee subpestilence contains chitin in their exoskeleton, which can be converted into chitosan. To obtain chitosan from bee subpestilence, a chitin extraction and degradation method is used, similar to the methods used for crustaceans, but taking into account the peculiarities of the chitin structure in bee bodies.

Bee subpestilence contain active biological components that can improve tissue regeneration, while the chitosan itself retains its biodegradability.

Chitosan isolated from bee subpestilence shows a high degree of deacetylation (about 90%), which indicates the high quality of the product. The molecular weight is in the range of 30-150 kDa, which demonstrates pronounced antibacterial properties and allows its use in food storage and agriculture. The antimicrobial activity of such chitosan is moderate, directed mainly against Gram-negative bacteria. Due to its low molecular weight, chitosan from bee subpestilence has less pronounced mechanical properties but has good adsorption properties [4, 5].

The solubility of chitosan from bee subpestilence in water is limited, but it improves in an acidic environment. Like chitosan from crustaceans, this species is also soluble in acids, making it convenient for pharmaceutical use.

Chitosan derived from mushrooms. Mushrooms, especially mushrooms such as fly agaric, represent another source of chitin. Chitosan derived from mushrooms has several distinctive features due to the characteristics of the cell wall of mushrooms, which contain large amounts of chitin.

The molecular weight of chitosan from mushrooms is typically between 20 and 100 kDa, making it suitable for food and biotechnology applications.

The degree of deacetylation is about 75%. Water solubility is better than chitosan from other sources due to its low molecular weight values, but its mechanical performance is lower than that of chitosan derived from crustaceans. Antimicrobial activity is medium, with the greatest efficacy against yeast and mold.

Anti-inflammatory and antioxidant properties: Mushroom chitosan has anti-inflammatory and antioxidant properties, it shows potential in anti-inflammatory therapy, which opens up its application in the field of medicine and cosmetology [6].

Chitosan derived from mulberry silkworm pupae. Mulberry pupae are another source of chitin. This material, unlike crustacean chitin, contains fewer proteins and other impurities, making it easier to obtain pure chitosan.

Chitosan obtained from mulberry silkworm pupae has a molecular weight ranging from 30 to 150 kDa. The degree of deacetylation reaches 95%, which indicated the high quality of the material. Solubility in water is limited but improves under acidic conditions. Antimicrobial activity is most pronounced against Gram-positive and Gram-negative bacteria.

Chitosan from mulberry silkworm pupae is characterized by its stability and good mechanical properties, as well as its tendency to form stronger films compared to chitosan obtained from other sources.

Chitosan from mulberry silkworm pupae is readily soluble in acids, but its solubility may be limited depending on conditions. Such chitosan is actively used to create gels and films in medical and cosmetic applications due to its ability to form strong structures.

Chitosan from mulberry silkworm pupae is also highly biodegradable and is widely used in pharmaceuticals [7, 8].

The average molecular weight of chitosan obtained from different raw material sources was determined by viscometric method using the Mark-Hauvinck-Sakurady equation.

$$\boldsymbol{M} = \left(\frac{[\boldsymbol{\eta}]}{\boldsymbol{K}}\right)^{\frac{1}{a}}$$

A system containing 0,25 *M* sodium acetate solution and 0,25 *M* acetic acid solution was used as solvent at $K = 1{,}4 \cdot 10^{-4}$ and a = 0,83.

The following conclusions can be drawn from the data presented in Table 1:

Table 1 – Molecular weight and physicochemical characteristics of chitosan samples synthesized from different raw material sources

№	Chitosan sample	N, %	Degree of diacetylation, %	Mv, kDa	[η]	Insoluble residue, %	Humidity, %
1	Chitosan derived from crustaceans	8,10	94,50	112,3	2,85	1,30	9,70
2		8,25	96,10	278,5	3,50	1,10	10,00
3		8,40	97,30	492,7	4,10	0,95	10,50
4	Chitosan derived from bee subpestilence	7,70	91,20	32,4	1,95	2,60	10,80
5		7,85	93,00	78,9	2,40	2,10	11,20
6		8,00	94,60	145,6	2,95	1,75	11,00
7	Chitosan derived from mushrooms	6,50	83,40	22,7	1,60	4,20	12,80
8		6,70	86,10	58,5	2,15	3,60	12,30
9		6,90	88,90	97,3	2,60	3,00	11,90
10	Chitosan derived from mulberry silkworm pupae	7,20	88,50	35,6	2,00	2,10	10,60
11		7,40	90,80	82,1	2,55	1,75	10,40
12		7,60	93,10	148,3	3,05	1,40	10,20

Chitosan from crustaceans is the most highly deacetylated and high-molecular-weight with good solubility compared to other samples. It is preferable where high molecular weight and stable properties are important (Figure1).

Chitosan from bee subpestilence has balanced indicators. In terms of mass and solubility, it is inferior to crustaceans, but better than chitosan obtained from mushrooms.

Chitosan obtained from mushrooms is the least deacetylated and has a low molecular weight. To achieve high solubility and stable properties, more thorough purification is necessary.

Chitosan from silkworm pupae is a good compromise in terms of solubility and has moderate molecular weight. Based on the data, it is close to bee subpestilence and slightly inferior to crustaceans.

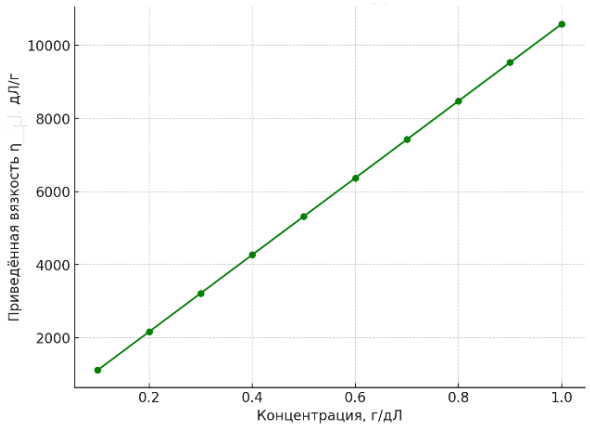


Figure1 – Concentration dependence of the reduced viscosity for chitosan with molecular weight M_v = 78,9 kDa

Discussion

With the development of industrialization and increasing food production, problems related to food storage and packaging arise. To solve these problems, scientists and industry are beginning to actively explore new materials that can provide long-term storage of products without reducing their quality. One such material is chitosan, a natural polysaccharide derived from chitin. Chitosan has unique properties such as antimicrobial activity, biocompatibility and the ability to form films, which makes it promising for use in the food industry.

One of the most valuable properties of chitosan for the food industry is its ability to form films and coatings that can be used in the packaging of products such as fruits, vegetables, meat, dairy products and fish. They provide a barrier function, protecting the product from external influences such as moisture, oxygen, and microbial contamination. In addition, chitosan has antimicrobial activity, making it effective against bacterial and fungal contaminants in food [9].

Chitosan films are environmentally friendly as they are biodegradable and do not pollute the environment. In addition, such films can be used to create functional packaging that will not only protect the product but also extend its shelf life [10].

The antimicrobial activity of chitosan is due to its ability to interact with the cell membranes of microorganisms, disrupting their integrity and leading to the death of bacteria and fungi. This property is also used in the creation of antibacterial packaging, which not only extends shelf life but also preserves the nutritional quality of foods [11].

The use of chitosan in packaging can significantly extend the shelf life of food products, improving their freshness and nutritional properties. This is especially important for products with a short shelf life, such as meat, fish, dairy products, and fresh fruits and vegetables.

Chitosan films and coatings are biodegradable, making them environmentally friendly. This reduces plastic waste, which is currently a major environmental concern.

Chitosan is a natural product that does not cause allergic reactions and is safe for human health, making it ideal for use in food packaging.

In recent decades, there has been a growing interest in the use of chitosan as a food additive due to its many beneficial properties. This substance exhibits antimicrobial activity, helps to reduce blood cholesterol levels, improves metabolism and is safe for human health.

Chitosan has antibacterial and antimicrobial effects, making it useful in preventing food poisoning and improving food quality. One of the best-known effects of chitosan is its ability to bind fats in the gastrointestinal tract, which helps lower blood cholesterol levels and prevent cardiovascular disease. Chitosan helps normalize the gastrointestinal tract, improves digestion and helps with metabolic disorders. Chitosan has the ability to reduce the level of free radicals in the body, which helps protect cells from oxidative stress and slows down the aging process.

Chitosan is actively used to lower blood cholesterol levels. Its ability to bind fats and eliminate them from the body helps to lower total cholesterol concentrations as well as low-density lipoprotein (LDL) levels, which is an important factor in the prevention of cardiovascular disease. Chitosan is often used as part of complexes to improve cardiovascular health, making it a useful dietary supplement for people suffering from hypercholesterolemia.

Chitosan exhibits antioxidant properties that are important in protecting the body from free radicals. Chitosan supplements may be useful in the prevention of oxidative stress related diseases such as cancer, cardiovascular disease and diseases of aging. Chitosan reduces oxidized lipid levels and maintains normal cellular health in the body.

One of the most popular uses of chitosan in dietary supplements is as a weight loss aid. Chitosan can bind fats, preventing them from being absorbed in the intestines. This helps to reduce the calorie content of food and helps to reduce fat storage in the body. Studies have shown that chitosan supplements can help in weight control, especially when following a balanced diet.

Chitosan is also considered a source of soluble fiber, which is important for improving digestion and normalizing intestinal function. Fiber helps prevent constipation, improves intestinal peristalsis, and helps improve overall gastrointestinal function. Chitosan supplements may be beneficial for people suffering from digestive problems or those who wish to improve their diet.

The data obtained by the authors of the article not only provide a scientific description of the differences between chitosan sources, but also demonstrate their practical application in the industry: the selection of raw materials for a specific task (film, coating, or solution), the predicted properties of finished materials, and the technological modes of solution preparation, which are directly related to extending shelf life and reducing packaging waste in the food industry.

Conclusion

With the increasing interest in natural and functional supplements, it can be expected that the use of chitosan in the food industry will continue to expand. Research into improving the properties of chitosan and finding new uses for chitosan will contribute to the development of more effective additives. The future may also see the use of chitosan in more convenient forms, such as capsules or powders, which will be easily integrated into the daily human diet.

References

1. Vasil'eva I.V. Khitozan: khimiya, fiziko-khimicheskie svoistva i biologicheskaya aktivnost' / I.V. Vasil'eva // Farmatsevticheskaya khimiya. – 2020. – S. 120-135. (In Russian).
2. Molekulyarno-massovye kharakteristiki khitozana, poluchennogo iz razlichnykh istochnikov / L.V. Timoshenko i dr. // Khimiya i biotekhnologiya. – 2018. – T. 21, № 4. – S. 45-52. (In Russian).
3. Zabolotnaya T.V. Ispol'zovanie khitozana v meditsine i biotekhnologiyakh / T.V. Zabolotnaya // Biokhimiya i molekulyarnaya biologiya. – 2019. – S. 178-185. (In Russian).
4. Antibakterial'naya aktivnost' khitozana, poluchennogo iz pchelinogo podmora / O.I. Shevchenko i dr. // Mikrobiologiya i biotekhnologiya. – 2020. – T. 29, № 2. – S. 61-67. (In Russian).
5. Trotsenko N.G. Khimiya khitozana i ego primenenie v meditsine / N.G. Trotsenko, N.M. Popova // Khimiya v promyshlennosti. – 2017. – T. 36, № 3. – S. 12-19. (In Russian).
6. Chitosan: A versatile biopolymer for biotechnological applications / A. Pugazhendhi et al // International Journal of Biological Macromolecules. –2019. – Vol. 125. – P. 885-894. (In English).
7. Rashidova S.SH. Khitin-khitozan Bombyx mori. Sintez, svoistva i primenenie. – Fan / S.SH. Rashidova, R.YU. Milusheva; 2009. – 279 s. (In Russian).
8. Abdullaev F.T. Ehffektivnost' deistviya preparatov na osnove khitozana pri dlitel'nom khranenii sortov yablok / F.T. Abdullaev, T.V. Dubovik // Universum: tekhnicheskie nauki: ehlektron. nauchn. zhurn. – 2024. – № 5(122). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17581 (data obrashcheniya: 27.02.2025). (In Russian).
9. Rinaudo M. Chitin and chitosan: Properties and applications / M. Rinaudo // Progress in Polymer Science. – 2006. – Vol. 31, № 7. – P. 603-632. (In English).
10. Rol' khitozana i ego proizvodnykh v agropromyshlennom komplekse: Monografiya / F.T. Abdullaev i dr.; Moskva, Izd. «InternaukA», 2020. – 132 s. (In Russian).
11. Antimicrobial properties of chitosan in food packaging applications / L. Zablotny et al // Journal of Food Science. – 2017. – Vol. 82, № 6. – P. 1357-1363. (In English).

Ф.Т. Абдуллаев[1], А.У. Шингисов[2], А.Ш. Азизов[1], Т.В. Дубовик[3*]
[1]Ташкент мемлекеттік аграрлық университеті,
Өзбекстан Республикасы, Ташкент облысы, Кибрай ауданы, Университет көшесі, 2.
[2]Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті. М. Әуезова,
Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Тәуке хан даңғылы, 5.
[3]«Астрахан мемлекеттік техникалық университеті» ФГБОУ филиалы
Өзбекстан Республикасы, Ташкент облысы, Кибрай ауданы, Университет көшесі, 2
*e-mail: dubovik_tatyana@mail.ru

ТАҒАМ ӨНДІРІСІНДЕ ҚОЛДАНУ ҮШІН ТҮРЛІ ТАБИҒИ КӨЗДЕРДЕН АЛҒАН ХИТОЗАНДЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ ЖӘНЕ МИКРОБҚА ҚАРСЫ ӘРЕКЕТІ

Мақалада авторлар әртүрлі шикізат көздерінен хитозан синтезі бойынша зерттеулердің нәтижелерін, олардың молекулалық-массалық, физика-химиялық сипаттамаларын, сондай-ақ оларды әртүрлі салаларда қолдану салаларын зерттеді. Хитозан мен оның туындыларын тамақ өнеркәсібінде орау материалдары ретінде қолдану тағамның балғындығын сақтауға және хитозан жоғары бактерияға қарсы және микробқа қарсы қасиеттерін көрсеткен кезде олардың сақтау мерзімін ұзартуға ықпал ететіндігі көрсетілген. Хитозанды өнімге тағамдық қоспалар ретінде қолдану адам ағзасынына өнімнің сіңімділігін жақсартады және олардың антиоксиданттық қасиеттерін арттырады.

Түйін сөздер: *хитин, хитозан, табиғи полисахарид, шаян тәрізділер, ара құрттары, саңырауқұлақтар, жібек құртының қуыршақтары, диацетилдену, микробқа қарсы және бактерияға қарсы белсенділік, биоүйлесімділік және биодеградация.*

Ф.Т. Абдуллаев[1], А.У. Шингисов[2], А.Ш. Азизов[1], Т.В. Дубовик[3*]
[1]Ташкентский государственный аграрный университет,
Республика Узбекистан, Ташкентская область, Кибрайский район, ул. Университетская, 2
[2]Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауезова,
Республика Казахстан, г. Шымкент, просп. Тауке хана, 5.
[3]Филиал ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»
Республики Узбекистан, Ташкентская область, Кибрайский район, ул. Университетская, 2
*e-mail: dubovik_tatyana@mail.ru

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ХИТОЗАНА ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

***В** статье авторами приведены результаты исследований по синтезу хитозана из различных источников сырья, их молекулярно-массовые, физико-химические характеристики, а также изучены сферы их применения в различных отраслях. Показано, что применение хитозана и его производных в отраслях пищевой промышленности в качестве упаковочных материалов, способствует сохранению свежести продуктов питания и увеличению их сроков хранения при проявлении хитозаном высоких антибактериальных и антимикробных свойств. Это особенно важно для продуктов с коротким сроком хранения, таких, как мясо, рыба, молочные продукты, а также свежие фрукты и овощи. Применение хитозана в качестве пищевых добавок в продукты питания улучшает качество и усваиваемость продукции организмом человека, увеличивает их антиоксидантные свойства. Хитозановые добавки из-за своих антибакриальной и антимикробной активности помогают в снижении уровня холестерина в крови, улучшению обмена веществ и являются безопасными для здоровья человека. Способность хитозана связывать жиры в желудочно-кишечном тракте предотвращает сердечно-сосудистые заболевания. Антиоксидантные свойства хитозана защищают организм от свободных радикалов, снижают уровень липидов и поддерживают нормальное состояние клеток организма.*

***Ключевые слова:** хитин, хитозан, природный полисахарид, ракообразные, пчелиный подмор, грибы, куколки тутового шелкопряда, диацетилирование, антимикробная и антибактериальная активность, биосовместимость и биодеградация.*

Information about the authors

Fazilzhon Tursunovich Abdullaev – Candidate of Chemical Sciences, Professor of the Department of Biochemistry and Physiology, Tashkent State Agrarian University, Republic of Uzbekistan, Tashkent region, Kibray district, Universitetskaya street, 2.

Azret Utebaevich Shengisov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department «Technology and safety of food products», South Kazakhstan State University named after. M. Auezova, Republic of Kazakhstan, Shymkent, ave. Tauke Khana, 5.

Aktam Sharipovich Azizov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Storage and Processing of Agricultural Products, Tashkent State Agrarian University, Republic of Uzbekistan, Tashkent region, Kibray district, Universitetskaya street, 2.

Tatyana Vladimirovna Dubovik* – Senior Lecturer of the Department of General Ecology and Economics; Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Astrakhan State Technical University» in the Tashkent region of the Republic of Uzbekistan, Tashkent region, Kibray district, Universitetskaya street, 2; e-mail: dubovik_tatyana@mail.ru.

Авторлар туралы мәліметтер

Фазылжон Тұрсынұлы Абдуллаев – химия ғылымдарының кандидаты, «Биохимия және физиология» кафедрасының профессоры, Ташкент мемлекеттік аграрлық университеті, Өзбекстан Республикасы, Ташкент облысы, Кибрай ауданы, Университет көшесі, 2.

Әзірет Өтебайұлы Шыңғысов – техника ғылымдарының докторы, «Азық-түлік өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының профессоры, Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті. М. Әуезова, Қазақстан Республикасы, Шымкент қаласы, Тәуке хан даңғылы, 5.

Актам Шәріпұлы Азизов – ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, «Ауыл шаруашылығы өнімдерін сақтау және қайта өңдеу» кафедрасының профессоры, Ташкент мемлекеттік аграрлық университеті, Өзбекстан Республикасы, Ташкент облысы, Кибрай ауданы, Университет көшесі, 2.

Татьяна Владимировна Дубовик* – «Жалпы экология және экономика» кафедрасының оқытушысы, Өзбекстан Республикасының Ташкент облысындағы «Астрахан мемлекеттік техникалық университеті» ФГБОУ филиалы, Ташкент облысы, Кибрай ауданы, Университет көшесі 2; e-mail: dubovik_tatyana@mail.ru.

Сведения об авторах

Фазилжон Турсунович Абдуллаев – кандидат химических наук, профессор кафедры «Биохимия и физиология», Ташкентский государственный аграрный университет, Республика Узбекистан, Ташкентская область, Кибрайский район, ул. Университетская, 2.

Азрет Утебаевич Шингисов – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и безопасность продовольственных продуктов», Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, Республика Казахстан, г. Шымкент, просп. Тауке хана, 5.

Актам Шарипович Азизов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Хранение и переработка сельскохозяйственных продуктов», Ташкентский государственный аграрный университет, Республика Узбекистан, Ташкентская область, Кибрайский район, ул.Университетская, 2.

Татьяна Владимировна Дубовик* – преподаватель кафедры «Общая экология и экономика»; Филиал ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» в Ташкентской области Республики Узбекистан, Ташкентская область, Кибрайский район, ул.Университетская, 2. e-mail: dubovik_tatyana@mail.ru.

Received 01.04.2025
Revised 21.08.2025
Accepted 25.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-41

CC BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 65.59.03

Э.К. Окусханова
Шәкәрім Университет,
071412, Республика Казахстан, город Семей, улица Глинки, 20 А
*e-mail: eleonora-okushan@mail.ru

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ВОЛН НА НАПРЯЖЕНИЕ СРЕЗА МЯСНОГО СЫРЬЯ

Аннотация: *В работе исследовано влияние ультразвуковых колебательных волн на напряжение среза различных видов мясного сырья – мяса марала, мясной обрези и говяжьего рубца. Эксперименты проводили с использованием ультразвуковых ванн частотой 35 и 60 кГц, а в качестве среды обработки применяли воду и 2% раствор аскорбиновой кислоты. Методика включала нарезку образцов стандартных размеров, ультразвуковую обработку в течение 30–300*

секунд с последующим определением напряжения среза с помощью структурометра. Результаты показали, что оптимальные параметры ультразвуковой обработки (240 секунд при 60 кГц в растворе аскорбиновой кислоты) обеспечивают максимальное снижение напряжения среза для всех исследованных видов сырья, свидетельствуя о выраженном размягчении структуры мышечных волокон. В частности, напряжение среза мяса марала снижалось до 7572 Па по сравнению с исходным значением 12080 Па, а у мясной обрези и говяжьего рубца отмечалось снижение показателя более чем в 1,5 раза. Полученные данные демонстрируют эффективность ультразвуковой обработки для повышения технологических свойств мясного сырья и открывают новые возможности для интенсификации мясоперерабатывающих процессов.

Ключевые слова: *ультразвуковая обработка, напряжение среза, мясное сырье, структура мышечных волокон, аскорбиновая кислота.*

Введение

В последние годы значительное внимание уделяется разработке новых технологий обработки мясного сырья, направленных на улучшение его качественных характеристик и повышение пищевой ценности конечных продуктов. Особый интерес представляет применение ультразвуковых волн, позволяющих модифицировать текстурные и функционально-технологические свойства мяса за счет воздействия на структуру мышечных и соединительных тканей [1-3].

Одним из наиболее перспективных физических методов интенсификации переработки мясного сырья является ультразвуковая обработка. Ультразвук генерирует колебательные волны высокой частоты, которые, распространяясь в жидкой или твердой фазе, вызывают кавитацию, микроразрушения и модификацию структуры белков и коллагена мышечных волокон [4]. Эти процессы приводят к разрыхлению соединительной ткани, высвобождению связанной влаги и ослаблению межмолекулярных взаимодействий. В результате существенно изменяются такие текстурные параметры мяса, как нежность, влагосвязывающая способность и напряжение среза – ключевые показатели, определяющие технологическую и потребительскую ценность мясных продуктов [5].

Многие авторы отмечают положительное воздействие ультразвуковой обработки на снижение микробиологической обсемененности [6], ускорение процесса созревания мяса [7], цветовые характеристики, консистенцию, усилие резания [8]. В работе [9] исследовано влияние ультразвука на качество куриного мяса. Авторы отмечают, что воздействие ультразвука (300 W, 40 kHz) улучшает ВСС куриного мяса за счет равномерного распределения воды, смягчает текстуру мяса. Таким образом, исследование влияния ультразвуковых колебательных волн на структурно-механические свойства и напряжение среза мясного сырья является актуальным и востребованным направлением, открывающим новые возможности для интенсификации мясопереработки и создания функциональных пищевых продуктов с заданными свойствами.

Рост информированности населения о принципах здорового питания, а также стремление к сокращению потребления насыщенных жиров способствуют повышению спроса на диетические мясные продукты с оптимальным соотношением белка и жира, сбалансированным аминокислотным и минеральным составом. В этом контексте актуально использование нетрадиционного низкокалорийного сырья, такого как мясо марала, обладающего уникальными пищевыми и биологическими свойствами: высоким содержанием белка, низким уровнем жира и богатым комплексом незаменимых аминокислот и микроэлементов [10].

Целью данной работы является исследование влияния ультразвуковых колебательных волн различной частоты и условий обработки на напряжение среза мясного сырья.

Материалы и методы

Мясо марала было приобретено с крестьянского хозяйства Багратион (село Привольное, Уланский район, ВКО). Мясная обрезь и говяжий рубец были закуплены с мясных павильонов города Семей.

Методика ультразвуковой обработки мясного сырья

Объектами исследования явились цельное мясо марала, говяжий рубец, мясная обрезь. Образцы разделили на куски в форме параллелепипеда со сторонами 25х50х50 мм.

В качестве источника ультразвука использовали ультразвуковую ванну марки «Сапфир 9,5 ТТЦ» (ТОО «Сапфир», Москва, Россия) с частотой 35кГц и «ПСБ-14060-05» (ТОО «ПСБ-Галс», Москва, Россия). Техническая характеристика представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика ультразвуковой ванны

Характеристика	«Сапфир 9,5 ТТЦ»	ПСБ-14060-05
Рабочая частота, кГц	35	60
Объем, л	9,5	14
Потребляемая мощность, Вт	460	1125
Мощность генератора, Вт	200	525
Мощность нагревателя, Вт	260	600
Габариты емкости, мм	295x235x150	300x320x150
Габаритные размеры, мм	325x265x330	410x335x340

Пробы мяса закладывали в стеклянные колбы объемом 1000 мл. Колбу заполняли водой (500 мл, температура 15-18˚С). Процесс ультразвукового воздействия осуществляли от 30 с до 300 с (30 с, 60 с, 90 с, 120 с, 240 с, 300 с). После каждого временного отрезка измеряли температуру пробы и определяли необходимые показатели. Температура в ультразвуковой ванне составляла 20±5 °С.

Определение напряжения среза.

Подготовка проб сводится к вырезанию на специальном устройстве образцов. Образцы вырезали на специальном устройстве легким нажимом ломтика продукта на вращающийся трубчатый нож. Полученный ровный цилиндрический образец диаметром 0,01 м образец извлекали с помощью выталкивателя. В случае отсутствия специализированного устройства по вырезанию образцов, пробу вырезали вручную, в виде квадрата со сторонами 0,02*X* 0,02 м.

Подготовленный образец продукта осторожно помещали на столик. Усилие, необходимое для среза образца, фиксировалось на табло структурометра. Далее задавали режим работы прибора как описано выше. Затем нажатием кнопки «Старт» приводили в движение режущий инструмент, который производил срез образца. При измерении на экране появлялись значения параметров, которые записывались автоматически в памяти прибора. После этого все данные измерений обрабатывались на компьютере. При этом величину напряжения среза определяли путем деления силы действующей на продукт, на площадь струны проходящей по поверхности продукта по формуле (20):

$$\theta_{ср} = \frac{P}{F}\ , \text{Па}, \qquad (20)$$

где: P – усилие среза, Н;

F – площадь поверхности среза, м^2: $F = \pi R^2$;

R – радиус образца, м.

Статистическая обработка

Статистическая обработка результатов анализов проводили с помощью пакета программ Microsoft Office 2016. Повторность опытов составляла от 3 до 5 раз.

Результаты исследований

Ультразвуковая обработка мяса марала и субпродуктов проводится с целью размягчения мышечных волокон для последующего тонкого измельчения. В качестве раствора использовали водный раствор и 2% раствор аскорбиновой кислоты. Аскорбиновая кислота выбрана в связи с ее свойствами подавления размножения патогенной микрофлоры и специфического запаха субпродуктов. В литературных источниках отмечено, что обработка мясного сырья аскорбиновой кислотой приводит к ускорению реакции образования окраски, улучшению внешнего вида и устойчивости цвета при хранении мясопродуктов. Аскорбиновая кислота снижает остаточное содержание нитритов в готовом продукте примерно на 30 %, ингибирует образование нитрозоаминов, усиливает антибактериологические свойства нитрита [11].

Пробы мяса марала в водном растворе при воздействии ультразвука показали постепенное снижение показателя напряжение среза в течение 300 с (рис. 1). После 300 с наблюдается повышение показателя напряжения среза. В пробах мяса марала в растворе 2%

аскорбиновой кислоты также наблюдается значительное снижение напряжения среза и после 300 с обработки данный показатель составил 7998,53 Па, что ниже, чем в пробе мясе в водном растворе при той же продолжительности воздействия ультразвука (8254,37 Па).

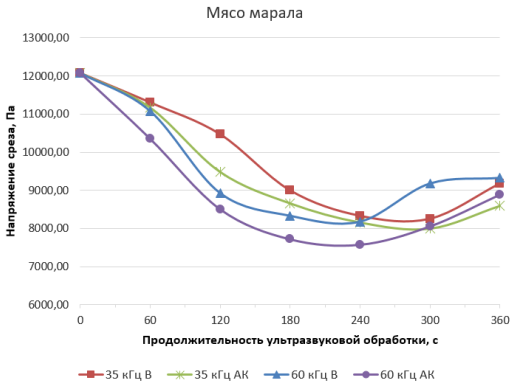


Рисунок 1 – Изменение напряжение среза мяса марала в зависимости от продолжительности и частоты ультразвуковой обработки и исходного раствора

Увеличение частоты воздействия ультразвука до 60 кГц выявило, что уже при 240 с обработки мяса марала в водном растворе имеет показатель напряжения среза 8177,82 Па, что незначительно отличается от показателей, полученных при воздействии в течении 300 с при 35 кГц.

Воздействие ультразвука в растворе 2% аскорбиновой кислоты при 60 кГц при 240 с получен самый минимальный показатель напряжения среза (7572,06 Па), что свидетельствует об эффективности применения раствора аскорбиновой кислоты при размягчении структуры образцов мяса марала. Дальнейшее воздействие ультразвука в течение 300 и 360 с приводит к увеличению показателя напряжения среза, что нежелательно. Незначительный рост показателя напряжения среза связан с деструктивными изменениями мышечных волокон. При длительной или чрезмерно интенсивной обработке наблюдается избыточная фрагментация мышечных волокон, разрыв сарколеммы, деградация белковых структур (актина, миозина, коллагена), а также частичная потеря способности удерживать влагу [12]. Это приводит к формированию неоднородной структуры, уменьшению эластичности и плотности ткани, что выражается в повышении напряжения среза. Такой эффект обусловлен тем, что чрезмерная деструкция приводит к утрате архитектурной целостности волокон, их агрегации и, как следствие, ухудшению технологических свойств мясного фарша [13].

Такая же тенденция снижения показателя напряжения среза наблюдается для образцов мясной обрези. Выявлено, что максимальное снижение напряжение среза достигнуто при воздействии ультразвука в растворе 2% аскорбиновой кислоты при 60 кГц частоты ультразвука продолжительностью 240 с. Показатель напряжения среза составил 8941,21 Па, тогда как без обработки было 14486,52 Па. Образцы мясной обрези, обработанные ультразвуком в водном растворе при разных частотах имеют незначительные расхождения в показателе напряжения среза (рис. 2), тогда как обработка в растворе аскорбиновой кислоты при 60 кГц значительно снижает напряжение среза, чем при обработке при частоте в 35 кГц в растворе аскорбиновой кислоты.

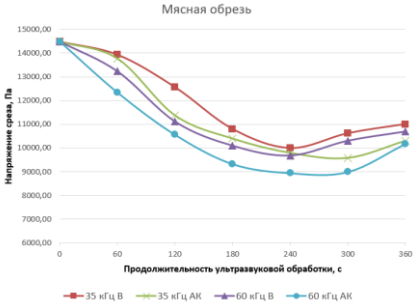


Рисунок 2 – Изменение напряжение среза мясной обрези в зависимости от продолжительности и частоты ультразвуковой обработки и исходного раствора

Воздействие ультразвука также приводит к снижению напряжения среза в образцах говяжьего рубца. Следует отметить, значительное снижение напряжение среза для образцов, обработанных при частоте 60 кГц в растворе 2% аскорбиновой кислоты. Так, при 300 с обработки зафиксирован наименьший показатель напряжения среза говяжьего рубца (10082,42 Па). При этой же продолжительности напряжение среза в других образцах составило: при частоте 35 кГц в водном растворе – 11905,87 Па; в растворе 2% аскорбиновой кислоты – 10745,37 Па; при частоте 60 кГц водного раствора – 11574,61 Па (рис. 3).

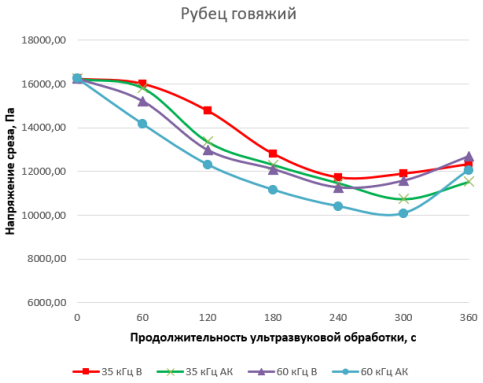


Рисунок 3 – Изменение напряжение среза говяжьего рубца в зависимости от продолжительности и частоты ультразвуковой обработки и исходного раствора

Ультразвуковые колебания создают колебательные движения, приводящие к разрушению межмолекулярных связей, освобождению связанной влаги и изменению структуры мышечных волокон. Эффект ультразвуковой кавитации и колебательные волны ультразвука приводят к ослаблению структуры волокон мяса, тем самым увеличивая нежность мяса (уменьшая напряжение среза). При обработке продукта ультразвуком периодические сжатия среды приводят к адиабатическому повышению ее температуры. Кроме того, происходит выделение тепла на поверхностях сред в основном в результате превращения акустической энергии в тепловую [14].

Таким образом, оптимальными условиями ультразвуковой обработки мясных образцов являются:

1) проведение ультразвуковой обработки в растворе 2% аскорбиновой кислоты;

2) длительность обработки не должна превышать 300 с при 35 кГц и 240 с при 60 кГц частоте ультразвуковых колебаний.

Заключение

В результате проведённого исследования установлено, что ультразвуковая обработка мясного сырья при определённых условиях позволяет эффективно снижать напряжение среза, тем самым способствуя размягчению структуры и улучшению текстурных характеристик мяса. Оптимальными параметрами воздействия признаны обработка в течение 240 секунд при частоте 60 кГц в 2% растворе аскорбиновой кислоты, что обеспечило максимальное снижение напряжения среза для мяса марала, мясной обрези и говяжьего рубца. В то же время было показано, что увеличение продолжительности ультразвукового воздействия сверх оптимального времени приводит к деструктивным изменениям мышечных волокон и, как следствие, к росту напряжения среза, что негативно сказывается на технологических свойствах сырья. Полученные результаты подтверждают перспективность применения ультразвуковых технологий в мясоперерабатывающей промышленности и подчеркивают важность точного подбора режимов обработки для достижения наилучших функциональных и качественных показателей мясных продуктов.

Список литературы

1. Ultrasound as a potential process to tenderize beef: Sensory and technological parameters / E. Peña-González et al // Ultrasonics Sonochemistry. – 2019. – Vol. 53. – P. 134-141. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.045.

2. Systematic review of emerging and innovative technologies for meat tenderisation / et al // Meat Science. – 2017. – Vol. 132. – P. 72-89. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.241.

3. Использование ультразвука для диспергирования и стабилизации водно-дисперсной структуры мясорастительных паштетов с повышенной утилитарностью белков / Н. Агальцева и др. // Ползуновский вестник. – 2022. – Т. 1, № 4. – С. 24-32.
4. Ultrasound as a Potential Technology to Improve the Quality of Meat Produced from a Mexican Autochthonous Bovine Breed / R.O. Caraveo-Suarez et al // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, № 7. – P. 3886. https://doi.org/10.3390/su14073886.
5. Bernardo Y.A. Principles, Application, and Gaps of High-Intensity Ultrasound and High-Pressure Processing to Improve Meat Texture / Y.A.d.A. Bernardo, D.K.A. do Rosario, C.A. Conte-Junior // Foods. – 2023. – Vol. 12, № 3. – P. 476. https://doi.org/10.3390/foods12030476.
6. Microbiological properties of poultry breast meat treated with high-intensity ultrasound / M. Piñon et al // Ultrasonics. – 2020. – Vol. 102. – P. 105680. https://doi.org/10.1016/j.ultras.2018.01.001.
7. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles / S.D. Jayasooriya et al // Meat Science. – 2007. – Vol. 75, № 4. – P. 628-639. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.09.010.
8. Stadnik J. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (m. semimembranosus) / J. Stadnik, Z.J. Dolatowski // European Food Research and Technology. – 2011. – Vol. 233. – P. 553-559. https://doi.org/10.1007/s00217-011-1550-5.
9. Effect of ultrasound-assisted enzyme treatment on the quality of chicken breast meat / C. Cao et al // Food and Bioproducts Processing. – 2021. – Vol. 125. – P. 193-203. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.11.005.
10. Аминокислотный состав паштетов на основе мяса марала и белкового обогатителя / Э.К. Окусханова и др. // Техника и технология пищевых производств. – 2015. – № 4. – С. 71-79.
11. Vitamins E and C may increase collagen turnover by intramuscular fibroblasts. Potential for improved meat quality / A.C. Archile-Contreras et al // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2011. – Vol. 59, № 2. – P. 608-614.
12. Benefits of ultrasonic technology application in meat field and its influential mechanism: a review / J. Zhang et al // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2024. – P. 1-26. https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2429002.
13. Advances in application of ultrasound in meat tenderization: A review / Y. Dong et al // Frontiers in Sustainable Food Systems. – 2022. – Vol. 6. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.969503.
14. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef / E.M. Peña-González et al // Italian Journal of Food Science / Rivista Italiana di Scienza degli Alimenti. – 2017. – Vol. 29, № 3. – P. 463-475.

Reference

1. Ultrasound as a potential process to tenderize beef: Sensory and technological parameters / E. Peña-González et al // Ultrasonics Sonochemistry. – 2019. – Vol. 53. – P. 134-141. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.045. (In English).
2. Systematic review of emerging and innovative technologies for meat tenderisation / et al // Meat Science. – 2017. – Vol. 132. – P. 72-89. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.241. (In English).
3. Ispol'zovanie ul'trazvuka dlya dispergirovaniya i stabilizatsii vodno-dispersnoi struktury myasorastitel'nykh pashtetov s povyshennoi utilitarnost'yu belkov / N. Agal'tseva i dr. // Polzunovskii vestnik. – 2022. – T. 1, № 4. – S. 24-32. (In Russian).
4. Ultrasound as a Potential Technology to Improve the Quality of Meat Produced from a Mexican Autochthonous Bovine Breed / R.O. Caraveo-Suarez et al // Sustainability. – 2022. – Vol. 14, № 7. – P. 3886. https://doi.org/10.3390/su14073886. (In English).
5. Bernardo Y.A. Principles, Application, and Gaps of High-Intensity Ultrasound and High-Pressure Processing to Improve Meat Texture / Y.A.d.A. Bernardo, D.K.A. do Rosario, C.A. Conte-Junior // Foods. – 2023. – Vol. 12, № 3. – P. 476. https://doi.org/10.3390/foods12030476. (In English).
6. Microbiological properties of poultry breast meat treated with high-intensity ultrasound / M. Piñon et al // Ultrasonics. – 2020. – Vol. 102. – P. 105680. https://doi.org/10.1016/j.ultras.2018.01.001. (In English).
7. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine Semitendinosus and Longissimus muscles / S.D. Jayasooriya et al // Meat Science. – 2007. – Vol. 75, № 4. – P. 628-639. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.09.010. (In English).
8. Stadnik J. Influence of sonication on Warner-Bratzler shear force, colour and myoglobin of beef (m. semimembranosus) / J. Stadnik, Z.J. Dolatowski // European Food Research and Technology. – 2011. – Vol. 233. – P. 553-559. https://doi.org/10.1007/s00217-011-1550-5. (In English).

9. Effect of ultrasound-assisted enzyme treatment on the quality of chicken breast meat / C. Cao et al // Food and Bioproducts Processing. – 2021. – Vol. 125. – P. 193-203. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.11.005. (In English).
10. Aminokislotnyi sostav pashtetov na osnove myasa marala i belkovogo obogatitelya / EH.K. Okuskhanova i dr. // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. – 2015. – № 4. – S. 71-79. (In Russian).
11. Vitamins E and C may increase collagen turnover by intramuscular fibroblasts. Potential for improved meat quality / A.C. Archile-Contreras et al // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2011. – Vol. 59, № 2. – P. 608-614. (In English).
12. Benefits of ultrasonic technology application in meat field and its influential mechanism: a review / J. Zhang et al // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. – 2024. – P. 1-26. https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2429002. (In English).
13. Advances in application of ultrasound in meat tenderization: A review / Y. Dong et al // Frontiers in Sustainable Food Systems. – 2022. – Vol. 6. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.969503. (In English).
14. Quality and sensory profile of ultrasound-treated beef / E.M. Peña-González et al // Italian Journal of Food Science / Rivista Italiana di Scienza degli Alimenti. – 2017. – Vol. 29, № 3. – P. 463-475. (In English).

Э.К. Окусханова
Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Глинки көшесі 20 А
e-mail: eleonora-okushan@mail.ru

УЛЬТРАДЫБЫСТЫҚ ТЕРБЕЛМЕЛІ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ЕТ ШИКІЗАТЫНЫҢ ЫҒЫСУ КЕРНЕУІНЕ ӘСЕРІ

Бұл жұмыста ультрадыбыстық тербеліс толқындарының марал етіне, ет кесіктеріне және сиырдың қарнына тән әртүрлі ет шикізатының кесу кернеуіне әсері зерттелді. Зерттеулер 35 және 60 кГц жиіліктегі ультрадыбыстық ванналарда жүргізілді, өңдеу ортасы ретінде су және 2% аскорбин қышқылының ерітіндісі пайдаланылды. Әдістеме стандартты өлшемдегі үлгілерді дайындау, оларды 30-300 секунд аралығында ультрадыбыспен өңдеу және соңынан кесу кернеуін құрылымөлшегіш арқылы анықтауды қамтыды. Нәтижелер көрсеткендей, ультрадыбыстық өңдеудің оңтайлы параметрлері (60 кГц жиілік және 240 секунд аскорбин қышқылы ерітіндісінде) барлық зерттелген шикізат түрлері үшін кесу кернеуінің максималды төмендеуін қамтамасыз етеді, бұлшықет талшықтарының құрылымының айқын жұмсаруы байқалады. Атап айтқанда, марал еті үшін кесу кернеуі бастапқы 12080 Па-дан 7572 Па-ға дейін төмендеді, ал ет қиындысы мен мес қарны үшін көрсеткіш 1,5 еседен аса азайды. Алынған нәтижелер ультрадыбыстық өңдеудің ет шикізатының технологиялық қасиеттерін арттырудағы тиімділігін көрсетіп, ет өңдеу үдерістерін интенсификациялау үшін жаңа мүмкіндіктер ашады.

Түйін сөздер: *ультрадыбыстық өңдеу, кесу кернеуі, ет шикізаты, бұлшықет талшықтарының құрылымы, аскорбин қышқылы.*

E.K. Okuskhanova
Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey city, Glinka street, 20 A
e-mail: eleonora-okushan@mail.ru

THE EFFECT OF ULTRASONIC WAVES ON THE CUTTING STRESS OF MEAT RAW MATERIALS

This study investigates the effect of ultrasonic waves on the cutting stress of various types of meat raw materials: maral meat, meat trimmings, and beef tripe. The experiments were conducted using ultrasonic baths with frequencies of 35 and 60 kHz, and water and a 2% solution of ascorbic acid were used as the processing medium. The method included cutting samples of standard sizes, ultrasonic treatment for 30–300 seconds, followed by determination of cutting stress using a structurometer. The results showed that the optimal parameters of ultrasonic treatment (240 seconds at 60 kHz in an ascorbic acid solution) provided the maximum reduction in cutting stress for all types of raw materials studied, indicating a pronounced softening of the muscle fiber structure. In particular, the cutting stress of maral meat decreased to 7572 Pa compared to the initial value of 12080 Pa, and the meat trimmings and beef tripe showed a decrease of more than 1.5 times.

The data obtained demonstrate the effectiveness of ultrasonic treatment in improving the technological properties of meat raw materials and open up new opportunities for intensifying meat processing.

Key words: *ultrasonic treatment, cutting stress, meat raw materials, muscle fiber structure, ascorbic acid.*

Сведения об авторе

Элеонора Курметовна Окусханова – ассоц. профессор, PhD, Шәкәрім Университет, Республика Казахстан, город Семей; e-mail: eleonora-okushan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5139-9291.

Автор туралы мәлімет

Элеонора Құрметқызы Окусханова – қауымдастырылған профессор, PhD, Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы; e-mail: eleonora-okushan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5139-9291.

Information about the author

Eleonora Kurmetovna Okushkhanova – Assoc. Professor, PhD, Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semey city, senior lecturer; e-mail: eleonora-okushan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5139-9291.

Поступила в редакцию 03.06.2025
Принята к публикации 31.07.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-42

BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 65.63.29

Д.С. Свидерская[1], Е.Ф. Краснопёрова[2*], А.М. Шуленова[3], Волкова Н.В.[1], Оспанова К.К.[1]
[1]Торайгыров университет,
140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова 64
[2]Инновационный Евразийский университет,
140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова 45
[3]Казахский агротехнический исследовательский университет им. Сакена Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Астана, пр.Женис 62
[*]e-mail: kef.80@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ХРАНЕНИИ МОРОЖЕНОГО, СОДЕРЖАЩЕГО РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЕ, И ДИЗАЙН ЕГО УПАКОВКИ

Аннотация: *В статье рассматривается возможность применения дикорастущих плодов и ягод ирги колосистой, черемухи обыкновенной и рябины обыкновенной красной, в производстве молочного десерта – мороженого. Данное дикорастущее сырье обладает рядом положительных свойств, благоприятно влияющих как на качественные характеристики готового продукта, так и на организм человека в целом. К ним относятся: высокое содержание пектиновых веществ, обладающих радиопротекторными свойствами, благодаря которым готовые изделия могут быть рекомендованы для экологически неблагоприятных регионов с загрязненными воздухом, водой и почвой вредными и опасными веществами; антибактериальные свойства, препятствующими развитию инфекционных заболеваний, подавляя развитие вредных микроорганизмов; большое количество витаминов, оказывающих общеукрепляющий эффект на организм человека.*

Изложены результаты исследований о влиянии растительной композиции из дикорастущих плодов и ягод на потребительские (органолептические, физико-химические), микробиологические и реологические (степень взбитости, скорость таяния) показатели молочного десерта – мороженого. Для этого изучались образцы мороженого, выработанного по традиционной технологии и образцы с внесением разработанной растительной композиции.

Кроме того, в исследовании, уделено большое внимание дизайну упаковки для мороженого. Так как упаковка товара – это основной носитель фирменного стиля бренда, с которым потребитель взаимодействует чаще всего, где бы это взаимодействие не происходило, в магазине или на маркетплейсах, он будет видеть упаковку. Предложенный дизайн упаковки призван выделять продукт из огромного многообразия подобного товара, благодаря использованию фирменных элементов, стилистики, графического решения, цветового сочетания.

Ключевые слова*: мороженое; растительная композиция, срок хранения; дизайн упаковки.*

Введение

Если говорить о продуктах молочной промышленности то, наверное, у большинства потребителей первое, что вспомнится, это мороженое. Любимейшее лакомство, секреты рецептуры и технологии получения которого хранили в секрете еще в древности. И когда-то мороженое было доступно только самым состоятельным людям. В наше же время этот десерт привлекает внимание все возрастные группы населения без исключения.

Учитывая такую всеобщую популярность молочного десерта и не только в жаркое время года, многие производители молочной промышленности занимаются его производством. Так как технологический процесс не предусматривает наличие дорогостоящего и сложного в обслуживании оборудования, использование дорогого сырья для которого необходима трудоемкая подготовка, нет производственных отходов (как при производстве масла, творога, сыров) и важно, что необходимое молочное сырье, являющееся основным для мороженого, производится зачастую на том же предприятии [1].

Кроме указанных положительных моментов, побуждающих заниматься производством мороженого можно отметить еще один фактор, который способен сделать обсуждаемый десерт полезным продуктом, обладающим направленным действием. И этим актуальным фактором является возможность использования местного дикорастущего пектин содержащего сырья, сбор и заготовка которого тоже не требует больших трудовых и финансовых трат. В качестве такого сырья нами били предложены плоды и ягоды черемухи обыкновенной, ирги колосистой и рябины обыкновенной (красной) [2-6] из которых разработана композиция, состоящая из указанных дикоросов в соотношении 1:2:1 (соответственно) как описано в [7]. Такое соотношение стало наиболее оптимальным по органолептическим и физико-химическим показателям. Также определено, что содержащиеся в растительном сырье пектиновые вещества положительно повлияли на степень взбитости и скорость таяния мороженого, в сторону увеличения, благодаря пенообразующим и вяжущим свойствам.

На завершающем этапе объемной исследовательской работы по созданию новых молочных продуктов, обогащенных полезными веществами (витаминами, органическими кислотами, минеральными и дубильными веществами) содержащимися в дикорастущих плодах и ягодах местного происхождения, является определение качественных показателей в свежевыработанном продукте и после его хранения [8-9].

Но произвести продукцию, даже самую высококачественную недостаточно. Важно уделить особое внимание выбору упаковочного материала и дизайну упаковки. Не секрет, что потребители в первую очередь отдают предпочтение продукту в зависимости от первого впечатления. А оно формируется благодаря красивой, обращающей на себя внимание, способной выделяться из множества подобной продукции. Часто можно наблюдать такую ситуацию, когда импортная продукция реализуется быстрее и в больших объемах, хотя по качеству не редко уступает отечественной. Поэтому дизайн упаковки также весьма актуален и должен заминать не меньшее внимание, чем создание качественных продуктов питания.

Условия и методы исследования

На данном этапе исследовательской работы целью являлось определение потребительских, микробиологических и реологических показателей готового молочное продукта, произведенного в соответствии с рецептурой и технологией, представленной в [10], свежевыработанного (после процесса фризерования) и по истечению стандартного срока его хранения. Для этого была осуществлена выработка опытного образца нового мороженого с внесением композиции из плодов и ягод в количестве 20%, как определено исследованиями в [10], и мороженого, произведенного по традиционной технологии в качестве контрольного образца.

Исследование способности мороженого сохранять свои первоначальные свойства проводились при следующих условиях. Во-первых: образцы готового продукта в виде брикета массой 200 г. помещали в морозильную камеру при температуре 20+2 ºС, в качестве упаковочного материала использовали пергаментную бумагу. Выбор именно данной температуры обусловлен тем, что при ней не возникает перекристаллизация влаги, содержащейся в продукте. Так как перекристаллизация негативно влияет на структуру продукта, снижая его органолептические показатели. Во-вторых: период хранения

использован стандартный, а именно: для молочного мороженого – 30 суток, для сливочного - 45 суток, для пломбира – 60 суток.

Исследовались качественные характеристики, в наибольшей степени подвергаемые изменениям по истечению срока хранения, такие как органолептические показатели (ISO 22935-2:2009 Milk and milk products – Sensory analysis – Part 2: Recommended methods for sensory evaluation), титруемая кислотность (ГОСТ 3624-92 Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности), микробиологические показатели (ГОСТ 9225-84 Молоко и молочные продукты. Методы микробиологического анализа. ГОСТ 30347-97 Молоко и молочные продукты. Методы определения Staphylococcus aureus. ГОСТ 30518-97 Продукты пищевые. Методы выявления и определения бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий) ГОСТ 30519-97 Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода Salmonella), скорость таяния (ГОСТ Р 31457-2012 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир» Технические условия и степень взбитости молочного десерта (ГОСТ 32256-2013 Мороженое шербет и десерты замороженные с добавлением молока и молочных продуктов. Общие технические условия. Отбор проб осуществлялся в соответствии с ГОСТ 26809-86 Молоко и молочные продукты. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу.

Результаты исследований

Показатели, характеризующие такие потребительские свойства как органолептические, определялись при использовании 100-балльной оценочной шкалы, при этом на запах и вкус отводится 60 баллов, на структуру и консистенцию – 30, на цвет – 10.

Данные показатели определяли сразу после выработки и по истечению срока хранения в опытных и контрольных образцах мороженого. На выходе из фризера опытные образцы характеризовались однородной, в меру плотной консистенцией без ощутимых комочков жира и стабилизатора, с едва заметными частицами внесенной композиции. Запах и вкус молочный, с легким миндально-фруктовым ароматом и привкусом. Цвет – однородный кремово-коричневый. В контрольных образцах консистенция отмечалась как однородная, в меру плотная, без ощутимых комочков жира и стабилизатора. Запах и вкус чистые молочные. Цвет – однородный молочный. В итоге, при оценивании исследуемых опытных и контрольных образцов получены наивысшие балльные оценки (табл. 1).

Таблица 1 – Оценка показателей мороженого при хранении

Вид изделия	Срок хранения, сутки	Баллы							
		Запах и вкус		Структура и консистенция		Цвет		Общее количество баллов	
		опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль
Молочное	свежевыработанное	60	60	30	30	10	10	100	100
	30	60	60	29-28	26-24	10	10	99-98	96-94
Сливочное	свежевыработанное	60	60	30	30	10	10	100	100
	45	60	60	29-28	26-24	10	10	99-98	96-94
Пломбир	свежевыработанное	60	60	30	30	10	10	100	100
	60	60	60	29-28	26-24	10	10	99-98	96-94

Данные результаты таблицы 1 свидетельствуют о некоторых изменениях консистенции опытных образцов по истечению срока хранения, а именно – не достаточно однородная, в сравнении со свежевыработанным продуктом. Это в итоге привело к снижению баллов на 1-2. Но по общему количеству баллов мороженое относится к сорту экстра. Что же касается контрольных образцов, то в них наблюдается большее изменение консистенции из-за образования слабо кристаллической структуры, что привело к снижению баллов на 4-6. И по общему количеству баллов продукт относятся к высшему сорту.

Следующим исследуемым показателем, оказывающим немаловажное значение на вкусовое восприятие, является титруемая кислотность продукта, Т (табл. 2).

Как видно из таблицы 2, на выходе из фризера титруемая кислотность опытного образца – 22-23ºТ, контрольного образца – 20-21ºТ. В течение всего срока хранения изменения кислотности в сторону увеличения не выявлено.

Таблица 2 – Оценка титруемой кислотности при хранении

Вид изделия	Срок хранения, сутки	Титруемая кислотность,° Т	
		Опытный образец	Контрольный образец
Молочное	свежее	22-23	20-21
	30	22-23	20-21
Сливочное	свежее	22-23	20-21
	45	22-23	20-21
Пломбир	свежее	22-23	20-21
	60	22-23	20-21

Еще одним фактором, характеризующим правильность определения сроков хранения, являются микробиологические показатели. Определялось наличие бактерий группы кишечной палочки (колиформные) в 1,0 $см^3$ изделия, патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы в 50 $см^3$ изделия и St. aureus в 1,0 $см^3$ изделия. В итоге, на выходе из фризера и после хранения указанная микрофлора не обнаружена.

Показателями, характеризующими способность готового продукта сохранять качество в течении установленного срока хранения являются степень взбитости и скорость таяния. Их определение осуществлялось в свежеприготовленном продукте и подвергнутом хранению (табл. 3).

Таблица 3 – Сравнение реологических свойств опытных и контрольных образцов мороженого при хранении

Вид изделия	Срок хранения, сутки	Показатели			
		Степень взбитости, %		Скорость таяния, минуты	
		опыт	контроль	опыт	контроль
Молочное	свежевыработанное	52	50	21	18
	30	50	45	18	13
Сливочное	свежевыработанное	62	60	24	21
	45	60	56	21	17
Пломбир	свежевыработанное	62	60	24	21
	60	60	56	21	17

Анализируя результаты, приведенные в таблице 3, видно, что степень взбитости в опытных образцах снизилась на 2%, в контрольных на 4-5%. Продолжительность таяния сократилась в опытных образцах на 3 мин., в контрольных на 4-5 мин. Данные изменения объясняются укрупнением кристаллов льда из-за постепенного снижения способности стабилизатора и белков связывать влагу. В результате она постепенно высвобождается, способствуя укрупнению кристаллов, нарушающих структуру мороженого, приводя к снижение степени взбитости и сокращению продолжительность таяния.

Кроме установления качественных характеристик предлагаемого мороженого разработали дизайн упаковки для трех видов потребительской тары (рис. 1), а именно для ведерка (А), ванночки (Б) и брикета (В). Выбор материала для изготовления самой тары не ограничен. Это может быть – картон, бумага, пластик, алюминий, могут быть трехслойными, например упаковка Tetra Pak, которую используют для молочной продукции, обычно состоит из картона, алюминиевой фольги и полиэтилена, что позволяет создавать условия для хранения продуктов. При выборе материала учитывают условия хранения, транспортировки и потребления товара.

Одним из важных этапов после конструктивного и формообразующего решения упаковки является цветовое сочетание, заложенное в элементы фирменного стиля, в логотип, иллюстрации, шрифты. Цвет считывается издалека, что повышает узнаваемость продукции бренда. С помощью цвета можно акцентировать внимание покупателя на самых важных характеристиках товара.

Упаковка для предлагаемого молочного десерта, выполнена в нежной пастельной цветовой гамме. Так как основной потребитель мороженного это дети, на упаковке изображен фирменный персонаж, маскот – симпатичная девочка-зайка, он добавляет особую теплоту и дружелюбие, а также побуждает к положительным эмоциям покупателя. Зайка, символизирующая природные и свежие ингредиенты, станет неотъемлемой и запоминающейся частью имиджа продукции.

А)

Б)

В)

Рисунок 1 – Дизайн упаковки потребительской тары

Обсуждение научных результатов

Таким образом, проведенными исследованиями установлено преимущество опытных образцов перед контрольными. И объясняется это тем, что предлагаемая композиция растительного происхождения, в качестве добавки, имеет в своем составе пектиновые вещества, обладающие влагосвязывающей способностью, а также улучшают структуру готового изделия. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о возможности исследуемого мороженого сохранять качественные характеристики в течение стандартного срока хранения в зависимости от его вида: молочное мороженое 1 месяц, сливочное 1,5 месяца, пломбир – 2 месяца при соблюдении температурного режима 20+2 ºС ниже нуля.

Отличие данного молочного десерта в его полезности, так как в него добавлены ирга, черника и рябина, он не только освежает, но и приносит пользу организму, благодаря антиоксидантам и витаминам, содержащимся в ягодах. Поэтому на шариках мороженного на упаковке присутствуют эти три вида ягод, нарисованные в яркой стилизованной стилистике. Такое мороженое может стать настоящей находкой для тех, кто ценит не только натуральные вкусы и заботу о своём здоровье, но и красивую, яркую упаковку, которую приятно взять в руки.

Заключение

Анализируя результаты проведенных исследований можно сделать вывод о том, что использование растительной композиции, сочетающей в себе плоды и ягоды ирги колосистой, черемухи обыкновенной и рябины обыкновенной красной, позволяет улучшить потребительские и реологические показатели мороженого и сохранять их в течении стандартных сроков хранения.

Важно отметить, возможность создания продуктов, обогащенных натуральными природными компонентами, которые способны заменить искусственные добавки и часть дорогостоящего молочного сырья, не снижая качественных характеристик готовой продукции, обладающей функциональными свойствами, что является весьма необходимым для экологически неблагоприятных регионов.

Список литературы

1. Рябцева С.А. Мороженое как средство доставки Lactobacillus Acidophilus / С.А. Рябцева, В.Р. Ахмедова, Г.С. Анисимов // Техника и технология пищевых продуктов. – 2018. – Т. 48, № 2. – С. 5-27. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-5-27.

2. Phytoncides in the composition of common bird cherry / P.N. Naguman et al // News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of biological and medical. – 2020. – № 5. – P. 76-81.
3. Uusitato M. European bird cherry (Prunus padus L.) – biodiverse wild plant for horticulture / M. Uusitato // MMT Agrifood Research Reports, 61. – Finland, 2004.
4. Sandallı C. Gram (-) microorganisms DNA polymerase inhibition, antibacterial and chemical properties of fruit and leaf extracts of Sorbus acuparia and Sorbus caucasica var. yaltirikii – Biomed / H. Turumtay et al // Chromatogr. – 2017. – № 31(6). https://doi.org/10.1002/bmc.3901.
5. Bioactive components and health benefits of Saskatoon berry / L. Zhao et al // Journal of Diabetes Research. – 2020. https://doi.org/10.1155/2020/3901636.
6. Kopcekova J. Phytonutrients of bilberry fruit and saskatoon berryin the prevention and treatment of dyslipidemia / J. Kopcekova, J. Mrázová // Roczniki Państwowego Zakładu Higieny. – 2022. – № 73(3). https://doi.org/10.32394/rpzh.2022.0216.
7. Свидерская Д.С. Композиция из дикорастущих плодов и ягод для обогащения продуктов переработки мяса и молока / Д.С. Свидерская, А.М. Шуленова, Е.Ф. Краснoперова // Вестник университета Шакарима. Технические науки. – 2025. – № 1(17). – С. 233-240. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1(17)-30.
8. СТ РК ГОСТ Р 52175-2010 Мороженое общие технические условия. Введ. 22.11.2010. – Госстандарт РК. – 2010.
9. ГОСТ Р 52175-2003 Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия. Введ. 01.01.2005. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 24 с.
10. Исследование качественных показателей мороженого при использовании плодово-ягодного наполнителя / Д.С. Свидерская и др. // Вестник КазУТБ. – 2025. – № 1(26). – С. 269-279. https://doi.org/10.58805/kazutb.v.1.26-761.

References

1. Ryabtseva S.A. Morozhenoe kak sredstvo dostavki Lactobacillus Acidophilus / S.A. Ryabtseva, V.R. Akhmedova, G.S. Anisimov // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh produktov. – 2018. – T. 48, № 2. – S. 5-27. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-5-27. (In Russian).
2. Phytoncides in the composition of common bird cherry / P.N. Naguman et al // News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of biological and medical. – 2020. – № 5. – R. 76-81. (In English).
3. Uusitato M. European bird cherry (Prunus padus L.) – biodiverse wild plant for horticulture / M. Uusitato // MMT Agrifood Research Reports, 61. Finland, 2004. (In English).
4. Sandallı C. Gram (-) microorganisms DNA polymerase inhibition, antibacterial and chemical properties of fruit and leaf extracts of Sorbus acuparia and Sorbus caucasica var. yaltirikii – Biomed / H. Turumtay et al // Chromatogr. – 2017. – № 31(6). https://doi.org/10.1002/bmc.3901. (In English).
5. Bioactive components and health benefits of Saskatoon berry / L. Zhao et al // Journal of Diabetes Research. – 2020. https://doi.org/10.1155/2020/3901636. (In English).
6. Kopcekova J. Phytonutrients of bilberry fruit and saskatoon berryin the prevention and treatment of dyslipidemia / J. Kopcekova, J. Mrázová // Roczniki Państwowego Zakładu Higieny. – 2022. – № 73(3). https://doi.org/10.32394/rpzh.2022.0216. (In English).
7. Sviderskaya D.S. Kompozitsiya iz dikorastushchikh plodov i yagod dlya obogashcheniya produktov pererabotki myasa i moloka / D.S. Sviderskaya, A.M. Shulenova, E.F. Krasnoperova // Vestnik universiteta Shakarima. Tekhnicheskie nauki. – 2025. – № 1(17). – S. 233-240. https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-1(17)-30. (In Russian).
8. ST RK GOST R 52175-2010 Morozhenoe obshchie tekhnicheskie usloviya. Vved. 22.11.2010. – Gosstandart RK. – 2010. (In Russian).
9. GOST R 52175-2003 Morozhenoe molochnoe, slivochnoe i plombir. Tekhnicheskie usloviya. Vved. 01.01.2005. – M.: Izd-vo standartov, 2004. – 24 s. (In Russian).
10. Issledovanie kachestvennykh pokazatelei morozhenogo pri ispol'zovanii plodovo-yagodnogo napolnitelya / D.S. Sviderskaya i dr. // Vestnik KaZUTB. – 2025. – № 1(26). – S. 269-279. https://doi.org/10.58805/kazutb.v.1.26-761. (In Russian).

Д.С. Свидерская[1], Е.Ф. Красноперова[2]*, А.М. Шуленова[3], Н.В. Волкова [1], Қ.Қ. Оспанова [1]
[1]Торайғыров атындағы университет,
140008, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., көш. Ломова 64
[2]Инновациялық Еуразия университеті,
140008, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., көш. Ломова 45
[3] Атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті. Сәкена Сейфуллина,
Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы, 62
*e-mail: kef.80@mail.ru

ҚҰРАМЫНДА ӨСІМДІК ШИКІЗАТЫ БАР БАЛМҰЗДАҚТЫ САҚТАУ КЕЗІНДЕ САПАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚАПТАМАСЫНЫҢ ДИЗАЙНЫ

Мақалада сүтті десерт – балмұздақ өндірісінде жабайы жемістер мен жидектерді пайдалану мүмкіндігі қарастырылады. Бұл жабайы шикізат дайын өнімнің сапалық сипаттамаларына да, жалпы адам ағзасына да жағымды әсер ететін бірқатар жағымды қасиеттерге ие. Оларға мыналар жатады: радиопротекторлық қасиеттері бар пектиндік заттардың жоғары мөлшері, соның арқасында дайын өнімдерді ауамен, сумен және топырақпен ластанған зиянды және қауіпті заттары бар Экологиялық қолайсыз аймақтарға ұсынуға болады; зиянды микроорганизмдердің дамуын тежейтін жұқпалы аурулардың дамуына кедергі келтіретін Бактерияға қарсы қасиеттер; адам ағзасына жалпы күшейтетін әсері бар көптеген дәрумендер.

Жабайы жемістер мен жидектердің өсімдік құрамының тұтынушылық (органолептикалық, физика-химиялық), микробиологиялық және реологиялық (балмұздақтың шайқалу дәрежесі, балмұздақтың еру жылдамдығы) көрсеткіштеріне әсерін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Дәстүрлі технология бойынша жасалған балмұздақ үлгілері және әзірленген өсімдік композициясы енгізілген үлгілер зерттелді.

Сонымен қатар, зерттеу балмұздақ қаптамасының дизайнына көп көңіл бөледі. Тауардың қаптамасы тұтынушы жиі өзара әрекеттесетін брендтің бренд стилінің негізгі тасымалдаушысы болғандықтан, бұл өзара әрекеттесу қай жерде болса да, дүкенде немесе маркетплейстерде ол қаптаманы көреді. Ұсынылған қаптаманың дизайны бренд элементтерін, стилистиканы, графикалық шешімді, түс комбинациясын қолданудың арқасында өнімді осындай өнімнің алуан түрінен бөлуге арналған.

Түйін сөздер: *балмұздақ; өсімдік құрамы, сақтау процесі; орау дизайны.*

D. Sviderskaya[1], E. Krasnopyorova[2*], A. Shulenova[3], N. Volkova[1], K. Ospanova[1]
[1]Toraigyrov University,
64 Lomova St., Pavlodar, Republic of Kazakhstan, 140008
[2]Innovative University of Eurasia,
Lomova str., 45, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, 140008
[3]Kazakh Agrotechnical Research University named after Sakena Seifullina,
62 Zhenis ave., Astana, Republic of Kazakhstan
*e-mail: kef.80@mail.ru

DETERMINATION OF THE QUALITY CHARACTERISTICS DURING STORAGE OF ICE CREAM CONTAINING VEGETABLE RAW MATERIALS AND THE DESIGN OF ITS PACKAGING

The article considers the possibility of using wild fruits and berries of spiky irga, wild cherry and red mountain ash in the production of milk dessert – ice cream. This wild-growing raw material has a number of positive properties that favorably affect both the quality characteristics of the finished product and the human body as a whole. These include: high content of pectin substances with radioprotective properties, due to which finished products can be recommended for environmentally unfavorable regions with polluted air, water and soil with harmful and dangerous substances; antibacterial properties that prevent the development of infectious diseases, suppressing the development of harmful microorganisms; a large number of vitamins that have a restorative effect on the human body.

The article presents the results of studies of the effect of a plant composition from wild fruits and berries on consumer (organoleptic, physico-chemical), microbiological and rheological (degree of whipping, melting rate of ice cream) indicators of a dairy dessert – ice cream. Samples of ice cream produced using traditional technology and samples with the addition of a developed herbal composition were studied.

In addition, the study paid great attention to the design of ice cream packaging. Since product packaging is the main carrier of the brand's corporate identity, which consumers interact with most often, wherever this interaction takes place, in a store or on marketplaces, they will see the packaging. The proposed packaging design is designed to distinguish the product from a huge variety of similar products, thanks to the use of branded elements, stylistics, graphic solutions, and color combinations.

Key words: *ice cream; herbal composition, storage process; packaging design.*

Сведения об авторах

Диана Сергеевна Свидерская – кандидат технических наук, доцент кафедры «Архитектура и дизайн», Торайгыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан; e-mail: sofilsev@rambler.ru. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3329-1126.

Елена Францевна Краснопёрова* – кандидат технических наук, профессор кафедры «Инженерия и промышленные технологии», Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, Республика Казахстан; e-mail: kef.80@mail.ru. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9336-0026.

Асем Манарбековна Шуленова – магистр технических наук, докторант кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет им. Сакена Сейфуллина, Республика Казахстан; e-mail: shulenovaa@mail.ru. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-2812-075X.

Надежда Валерьевна Волкова – магистр педагогических наук, старший преподаватель кафедры «Архитектура и дизайн», Торайгыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан; e-mail: nadezhda-volkova-70@mail.ru. ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-9948-5627.

Карина Кайратовна Оспанова – студент кафедры «Архитектура и дизайн»; Торайгыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан; e-mail: karina.oshanova777@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-2489-8277.

Авторлар туралы мәліметтер

Диана Сергеевна Свидерская – техника ғылымдарының кандидаты, «Сәулет және дизайн» кафедрасының доценті; Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: sofilsev@rambler.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3329-1126.

Елена Францевна Краснопёрова* – техника ғылымдарының кандидаты, «Инженерия және өнеркәсіптік технологиялар» кафедрасының профессоры; Инновациялық Еуразия университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: kef.80@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9336-0026.

Әсем Манарбекқызы Шуленова – техника ғылымдарының магистрі, «тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының докторанты; Қазақ агротехникалық зерттеу университеті Сәкен Сейфуллин, Қазақстан Республикасы; e-mail: shulenovaa@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2812-075X.

Надежда Валерьевна Волкова – педагогика ғылымдарының магистрі, «Сәулет және дизайн» кафедрасының аға оқытушысы; Торайғыров атындағы университет, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: nadezhda-volkova-70@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9948-5627.

Карина Кайратовна Оспанова – «Сәулет және дизайн» кафедрасының студенті; Торайғыров атындағы университет, Павлодар, Қазақстан Республикасы; e-mail: karina.oshanova777@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-2489-8277.

Information about the authors

Diana Sviderskaya – candidate of technical science, docent of the department «Architecture and design»; Toraighyrov University, Pavlodar c., Republic of Kazakhstan; e-mail: sofilsev@rambler.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3329-1126.

Yelena Krasnopyorova* – candidate of technical science, Professor of the Department of «Engineering and Industrial Technologies», Innovative University of Eurasia, Pavlodar c., Republic of Kazakhstan; e-mail: kef.80@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9336-0026.

Assem Shulenova – Master of Technical Sciences, Doctoral student of the department of «Food Technology and Processing Products» Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana c., Republic of Kazakhstan; e-mail: shulenovaa@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-2812-075X.

Nadezhda Volkova – Master of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer, Department of Architecture and Design, Toraigyrov University, Pavlodar c., Republic of Kazakhstan; e-mail: nadezhda-volkova-70@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0006-9948-5627.

Karina Ospanova – student of the Department of Architecture and Design; Toraigyrov University, Pavlodar c., Republic of Kazakhstan; e-mail: karina.oshanova777@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-2489-8277.

Поступила в редакцию 02.06.2025
Поступила после доработки 21.08.2025
Принята к публикации 22.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-43

МРНТИ: 65.39.31.

BY 4.0
Check for updates

Ф.Х. Смольникова*, Б.К. Асенова[1], Ш.Б. Байтукенова[2], Г.Т. Жуманова[1], Ж.М. Атамбаева[1]
[1]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
[2]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина
010000, г. Астана, проспект Женис, 6
*e-mail: smolnikovafarida@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОЛБАСНОГО ИЗДЕЛИЯ С РАСТИТЕЛЬНЫМ ЭКСТРАКТОМ ИЗ ФЕРМЕНТИРОВАННОГО ЗВЕРОБОЯ

Аннотация: *В данной статье рассмотрена технология колбасного изделия с использованием водного растительного экстракта ферментированного зверобоя. Экстракты лекарственных растений при добавлении в пищевые продукты могут оказывать на готовые изделия ряд полезных свойств, таких как антиоксидантные, функциональные, вкусоароматические, выступать в качестве природного красителя. Сегодня это является новым трендом в производстве мясных изделий. В состав колбасного изделия входили компоненты: мясо говядины 1 сорта, филе куриное, молоко обезжиренное, яйца куриные, свекольный порошок, экстракт ферментированного зверобоя. Ферментированный зверобой имеет значительные преимущества перед неферментированным – его полезные свойства усиливаются. Были приготовлены несколько рецептур экстрактов, которые показали, что соотношение вода, зверобой, как 80:20, дает большее значение витамина В6 и большее значение содержание флавоноидов, эти показатели дают основание использовать его, как антиоксидантный компонент. Функциональные свойства колбасному изделию придает свекольный порошок, который является источником пищевых волокон, минеральных вещества, витаминов, а также является натуральным красителем. Для исследования химического состава использовались стандартные методы исследования, для обработки данных использовали статистическую обработку в Excel. Технология производства опытного вареного колбасного изделия осуществляли по традиционной технологической схеме. В готовом изделии были проанализированы химический состав, физико-химические показатели. Результаты исследования показали, что опытный образец имел преимущественные значения показателей по сравнению с контрольным и более продолжительные сроки хранения – 40 суток.*

Ключевые слова: *колбаса вареная, экстракты, технология, свекольный жмых, зверобой, антиоксидантные свойства.*

Введение

Включение растительных компонентов в состав вареной колбасы становится все более востребованным направлением в пищевой индустрии. Этот способ позволяет улучшить характеристики продукта, повысить его безопасность и полезность, а также соответствовать современным запросам покупателей. В настоящее время потребители отдают предпочтение натуральным и органическим вариантам. Колбасные изделия с добавлением растительных экстрактов отвечают этой тенденции, являясь более естественной альтернативой традиционным колбасам.

Многие растительные экстракты, такие как розмарин, зеленый чай, тимьян и зверобой, обладают выраженными антиоксидантными и антибактериальными свойствами, что способствует увеличению срока годности колбас, предотвращая окисление жиров и развитие вредных микроорганизмов [1].

Использование экстрактов, богатых фитохимическими соединениями, может положительно влиять на здоровье, например, улучшать работу пищеварительной системы, снижать уровень холестерина и поддерживать иммунитет. Растительные экстракты способны придавать колбасам новые вкусовые и ароматические оттенки, что открывает возможности для создания уникальных продуктов с неповторимыми вкусовыми качествами. Применение растительных экстрактов позволяет уменьшить количество синтетических консервантов и антиоксидантов, делая продукт более натуральным и экологически безопасным. Использование местных растений и трав может поддержать местных фермеров и производителей, способствуя развитию сельских территорий. Потребители все чаще ищут

продукты, которые не только приятны на вкус, но и оказывают положительное воздействие на здоровье.

Применение растительных компонентов в производстве колбасных продуктов предоставляет широкие возможности для усовершенствования технологических процессов:

– улучшение полезных качеств, обогащение вкуса и запаха. Экстракты трав, специй и пряностей дают шанс формировать неповторимые вкусовые оттенки, одновременно уменьшая количество соли и иных добавок;

– повышение сочности и мягкости. Растительные экстракты, обладающие гидроколлоидными свойствами, например, из сои или нута, эффективно удерживают влагу, делая колбасы более сочными и мягкими;

– защита от окисления. Экстракты, насыщенные антиоксидантами, такие как розмарин, тимьян или экстракт винограда, способны замедлять окислительные реакции, увеличивая срок годности колбасных изделий и их качество [2];

– уменьшение количества вредных веществ, например соли. Экстракты определенных растений, например, сельдерея или чеснока, могут частично заменить соль, снижая ее количество в колбасах без ущерба для вкуса;

– снижение содержания жира. Растительные экстракты с гелеобразующими свойствами, такие, как экстракт овса или льна, могут частично заменить животный жир, что делает колбасы менее калорийными;

– уменьшение содержания нитратов. Экстракты некоторых растений, например, свеклы или граната, обладают способностью снижать содержание нитратов в колбасных изделиях [3];

– растительные экстракты лекарственных растений, например, боярышника или женьшеня, могут быть использованы для создания функциональных колбас, обладающих полезными для здоровья свойствами [4];

– экологическая безопасность. Использование растительных экстрактов позволяет уменьшить применение химических добавок, таких как, нитриты, нитраты, искусственные красители и ароматизаторы.

Табакаевой О.В. и соавторами были разработаны образцы мясного хлеба из мяса индейки, обогащённого фортифицированным водным экстрактом фукуса. Образец с заменой воды на 100 %-ный водный экстракта фукуса, по органолептическим показателям, имел наивысший балл по 5-балльной системе оценки. Мясной хлеб из мяса индейки, фортифицированный водным экстрактом фукуса, обладал улучшенными органолептическими, физико-химическими, функционально-технологическими показателями, что позволило расширить ассортимент варёных мясных продуктов. В состав колбасного изделия входили мясо индейки 65%, шпик 21%, нитритно-посолочная смесь 2%, сахар 0,1%, перец черный 0,1%, мускатный орех 0,1%, вода 6%, водный экстракт фукуса 6%. Экстракт фукуса имел свежий, слегка йодистый запах, сладковатый, свойственный водорослям вкус, цвет экстракта темно-коричневый [5].

Был подобран микс растительных экстрактов из растений Paeonia japonica (Makino) Miyabe & Takeda, Rhus chinensis Mill, Paeonia suffruticosa, Psidium guajava, Nelumbo nucifera, Ecklonia cava. В процессе хранения колбас, обработанных различными комбинациями этих экстрактов, были проанализированы pH, цвет, количество веществ, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (TBARS) и рост патогенных микроорганизмов. Смеси натуральных экстрактов проявляли различную антибактериальную активность в зависимости от комбинации. По сравнению с экстрактом косточек грейпфрута, смесь натуральных экстрактов, экстрагированных этанолом, снижала содержание Escherichia coli более чем на 99,9% после 8 дней хранения и замедляла рост Listeria monocytogenes и Salmonella spp. более чем на 80% через 14 дней. Смеси натуральных растительных экстрактов значительно предотвращали окисление липидов. Натуральные консерванты, как правило, могут подавлять рост микроорганизмов и окисление обработанных продуктов [6].

Было исследовано влияние эфирного масла шалфея и экстракта шалфея, полученных из травяной пыли шалфея лекарственного (Salvia officinalis L.) на микробиологическую и окислительную стабильность свежих свиных колбас. Были оценены показатели pH, микробиологический анализ, TBARS и сенсорная панель. Добавление эфирного масла и экстракта шалфея приводило к значительному ингибированию роста микроорганизмов. Их

добавление значительно снижало значения TBARS, улучшало вкусовые качества свежих свиных колбасок, повышало безопасность колбасных изделий [7].

Исследовался антиоксидантный эффект экстрактов зелёного и чёрного чая (Camellia sinensis L.) в сыровяленых свиных колбасах. Общее содержание полифенолов в экстракте зеленого чая (GTE) было значительно выше, чем в экстракте черного чая (BTE). Анализ DPPH показал достоверно более высокую антиоксидантную активность при GTE по сравнению с BTE. Значения TBARS в сыровяленых свиных колбасах значительно снижались при всех уровнях концентрации BTE (0.05%, 0.10%, 020%, и 0,30%) и GTE (0,05%, 0,10, 0,20% и 0,30%) в течение 5-дневного срока хранения [8].

Были приготовлены сосиски с добавлением экстракта зизифуса в количестве 1,0 г/100 г. В листьях зизифуса преобладали Е-ванильные и эллаговые фенольные соединения, которые составляют 39,09 и 36,38 мг/100 г порошка из листьев зизифуса, в то время как основным флавоноидом в нем является кверцетин (8,38 мг/100 г). Экстракты листьев зизифуса подавляли рост всех протестированных штаммов бактерий пищевого происхождения. При хранении в холодильнике образцы колбас с добавлением 1 % экстракта листьев зизифуса (этанольного или водного), показали лучшую стабильность цвета, более низкие значения TBARS по сравнению с контрольными образцами [9].

Листья моринги масличной (Moringa oleifera) были оценены на предмет антиоксидантной способности и антимикробной активности при добавлении в куриные сосиски. Были приготовлены сосиски с различными концентрациями (0,25%, 0,5%, 0,75% и 1%) листьев M. oleifera. В колбасах с содержанием 0,5%, 0,75% и 1% значение TBARS было значительно ниже по сравнению с 0,25 % и двумя контрольными образцами. Колбасы с содержанием 0,5%, 0,75% и 1% показали значительно низкие значения pH со 2-й по 5-ю неделю хранения. Исследование выявило значительный антиоксидантный и антимикробный потенциал листьев моринги масличной в куриных сосисках [10].

Анализ научно технической информации показывает эффективность применения растительных экстрактов в технологии колбасных изделий. Целью данного исследования являлась разработка технологических параметров производства колбасного изделия с экстрактом зверобоя.

Условия и методы исследования

Для проведения исследований использовали стандартные методики. При исследовании экстракта зверобоя для определения пиридоксина использовался метод высокоэффективно жидкостной хроматографии на приборе ВЭЖХДМД LC-2030C 3D Prominence-I (Shimadzu, Япония) по ГОСТ EN 14663-2014. Для разделения веществ применялась обращено-фазовая хроматография, при которой поддерживалась заданная температура. В качестве элюента выступала смесь воды с метанолом (или ацетонитрилом). Обнаружение соединений проводилось при длине волны, оптимальной для поглощения пиридоксина 290 нм. Калибровку осуществляли с помощью эталонного образца пиридоксина, а идентификацию – на основании времени удержания и УФ-спектра [11].

Для определения флавонидов использовался фотоколориметрический метод хлоридом алюминия и нитрита натрия [12].

Флавоноиды взаимодействуют с ионами алюминия (Al^{3+}), образуя окрашенные комплексные соединения. Нитрит натрия участвует в диазотировании фенольных групп, что усиливает окраску. Интенсивность окраски измерялась фотоколориметрически (или спектрофотометрически) на длине волны 415-430 нм. К исследуемому раствору добавляли нитрит натрия, через 5-6 минут добавляли хлорид алюминия, далее добавляли NaOH, доводили объём дистиллированной водой, измеряли оптическую плотность на фотоколориметре при 415-430 нм. Расчёт проводили по градуировочному графику, построенному с использованием рутина.

Содержание нитрита определялось по ГОСТ 8558.1-78 [13]. Суть метода заключается в формировании окрашенного азосоединения при взаимодействии нитрит-ионов с сульфаниловой кислотой и α-нафтиламином в кислой среде. Степень окраски измерялась с применением фотоколориметра или спектрофотометра при длине волны 520 нм. Для количественного анализа использовали градуировочный график, полученный с помощью стандартных растворов нитрита натрия.

Содержание влаги было определено по ГОСТ 9793-74 [14]. Содержание соли определили по ГОСТ 9957-73 [15]. Метод основан на осаждении хлорид-ионов раствором

нитрата серебра в присутствии хромата калия в качестве индикатора. При добавлении нитрата серебра образуется белый осадок хлорида серебра. Конец титрования фиксируется по появлению устойчивого розово-красного окрашивания, указывающего на образование хромата серебра.

Расчёт массовой доли поваренной соли (X, в %) осуществляли по формуле 1:

$$X=\frac{V\cdot C\cdot 100}{m} \quad (1),$$

где:

V объём раствора нитрата серебра, израсходованный на титрование, мл;
C – концентрация раствора нитрата серебра, моль/л;
5.85 – молярная масса NaCl, г/моль;
m – масса навески образца, г.

Для оценки кислотности среды (pH) использовали потенциометрический метод с помощью pH-метра модели 150MI по ГОСТ 26180-84 [16].

Определение активности воды проводилось по ГОСТ ISO 21807-2015 [17]. Определение предельного напряжения сдвига на приборе Стуктурометр СТ-2.

Химический состав продукта исследовался на инфракрасном приборе Инфралюм ФТ-12.

Для обработки данных использовали статистическую обработку в Excel, при статистической обработке результатов физических, физико-химических и химических испытаний использовали выборку (n ≤ 5). Для решения вопроса о наличии или отсутствии статистически значимой погрешности для выборки использовали критерий Стьюдента. Для оценки значений использовались простые контрольные карты Шухарта. На контрольной карте отмечали контрольные границы, ограничивающие область варьирования допустимых значений статистики. Выход точки за границу регулирования и появление ее на самой границе служило сигналом о разладке процесса.

Результаты исследования

Для приготовления вареного колбасного изделия были подобраны следующие ингредиенты: говядина, мясо птицы, яйца куриные, молоко сухое, свекольный порошок, экстракт ферментированного зверобоя, соль, сахар, тимьян, мускатный орех, перец чёрный.

Ферментация для зверобоя была необходима для перехода химических веществ в более активное состояние и усиления его свойств.

На первом этапе исследования была составлена технологическая схема приготовления сухого ферментированного зверобоя. Технологическая схема представлена на рисунке 1.

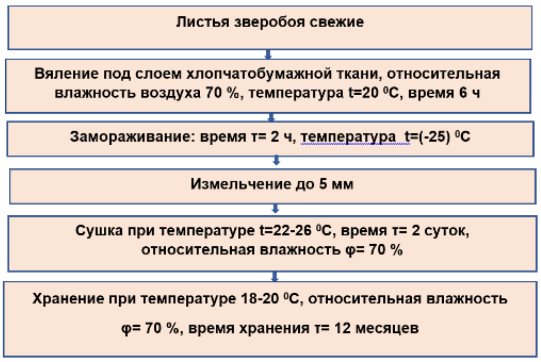


Рисунок 1 – Схема изготовления сухого ферментированного зверобоя

Использование данной методики ферментации зверобоя обеспечивает биохимическую трансформацию его активных компонентов благодаря собственным ферментам растения. Это способствует улучшению усвояемости полезных веществ, модификации вкусо-ароматического профиля, уменьшению горечи или терпкости, а также более эффективному извлечению ценных соединений.

Для приготовления водных экстрактов ферментированного зверобоя использовались гидромодули, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Опытные образцы экстрактов зверобоя (гидромодули)

Вид сырья	Гидромодуль 1	Гидромодуль 2	Гидромодуль 3	Гидромодуль 4	Гидромодуль 5
Вода	95	90	85	80	75
Ферментированный зверобой	5	10	15	20	25
Всего	100	100	100	100	100

Технология приготовления водного экстракта зверобоя: к сухому ферментированному зверобою добавляли воду с температурой 100 ºС и настаивали в воде при температуре 80ºС в течении 2 часов, далее он охлаждался до 18-20 ºС, процеживался.

Экстракт зверобоя исследовался на химический состав – таблица 2.

Таблица 2– Показатели гидромодулей зверобоя и контрольного образца

Наименование	Плотность, г/л	Сумма флавоноидов в пересчете на рутин мг/100 мл	Пиридоксин (витамин В6), мг/100 мл
Гидромодуль 1	1,3±0,01	50,0±0,02	45±0,01
Гидромодуль 2	1,26±0,02	50,5±0,01	45,2±0,01
Гидромодуль 3	1,25±0,01	50,4±0,02	45,3±0,01
Гидромодуль 4	1,23±0,02	50,7±0,02	45,9±0,01
Гидромодуль 5	1,22±0,02	50,1±0,02	45,5±0,01
Контроль	1,1±0,01	50,0±0,01	45,3±0,01

Наибольшая плотность у гидромодуля 1, затем идёт плавное снижение до гидромодуля 5, все опытные образцы имеют плотность выше контрольного. Это говорит о более высокой концентрации экстрактивных веществ в опытных образцах по сравнению с контролем. В качестве контрольного образца использовалась водно-глицериновый экстракт зверобоя (производитель ООО «Fito-Aptekar», Россия).

Уровень флавоноидов во всех гидромодулях высокий, изменения незначительны (колебания в пределах 0,7 мг/100 мл).

Гидромодуль 4 имеет максимальное содержание флавоноидов. Контроль показывает один из наименьших значений.

Содержание пиридоксина повышается с 1-го до 4-го гидромодуля, где достигает максимума. Контроль имеет среднее значение, не сильно отличающееся от большинства опытных. Пиридоксин хорошо растворим в воде, но его извлечение также зависит от pH среды, времени настаивания, температуры, соотношения экстрагент/сырьё. При гидромодуле 4 создаются наиболее благоприятные условия для выхода пиридоксина из клеток растения и его сохранения в растворе.

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что содержание флавоноидов и пиридоксина было максимальным в гидромодуле 4, что говорит о более высоких антиоксидантных свойствах данной рецептуры. Гидромодуль 4 в дальнейшем использовался для приготовления колбасного изделия.

Свекольный порошок был приготовлен по технологической схеме, представленной на схеме 2.

Рисунок 2 – Схема приготовления свекольного порошка

Свекольный порошок содержит широкий спектр биологически активных веществ, витаминов, минералов и фитохимических соединений: бетанин (красный пигмент), бетацианины и бетааксанины (антиоксданты), полифенолы, витамин В6, витамин В9, железо, магний.

Приготовление колбасного изделия осуществлялось согласно рецептуре, для сравнения представлена рецептура контрольного образца – колбаса варённая «Фирменная» ТМ «Мясная лавка» (Россия). Рецептуры колбасных изделий представлены в таблице 3.

Рецептура экспериментального колбасного изделия была реализована через метод математической статистики и предварительных лабораторных исследований.

Таблица 3 – Рецептура опытного и контрольного образцов колбасных изделий

Наименование компонентов	Контроль	Опыт
Говядина жилованная 1 сорт	40	43
Куриное мясо (филе)	45	50
Яйца куриные	3	2
Молоко сухое цельное	2	3
Свекольный порошок	-	1,92
Отвар ферментированного зверобоя	-	0,08
Вода	10	-
Итого	100	100
Специи:		
Сахар	0,02	0,12
Соль	2,2	2,37
Перец черный	-	0,08
Тимьян	-	0,075
Мускатный орех	0,050	0,04
Нитрит натрия	0,007	-

Процесс реализации технологии заключался в следующем: подготовка мясного сырья. Туши и полутуши (говядины) промывались в проточной питьевой воде, температура которой составляла 18-20 ºС, удалялись клейма и посторонние примеси. Далее следовала разделка на части говяжьих туш. После этого проводилась обвалка и удаление жил из мясного сырья. Жилованное мясо сортировалось и отправлялось на посол. Перед посолом сырье измельчалось до размеров частиц 10 мм. После измельчения мясо перемешивалось в смесителях с солью в количестве примерно 2,5% от веса сырья. Посоленное мясо помещалось на созревание при t=0-4ºС и φ=75%. Продолжительность созревания составила 12 часов. Составлялся фарш. Обрабатывалось мясное сырье с 10-40% воды с t= 1-3ºС или льда, составляющих всю необходимую влагу, затем добавлялись специи. Фарш измельчался до 3 мм. В фарш добавляли свекольный порошок, экстракт зверобоя, молоко сухое, куриные яйца. Температура измельченного фарша не превышала 12 ºС. Наполнение оболочек фаршем осуществлялось с помощью вакуумного шприца.

Готовые колбасные изделия подвешивали на специальные стеллажи и перемещали на осадку: температура воздуха 8 °С и φ=70-75%. Данный этап занимал 2 часа.

После осадки колбасы подвергались тепловой обработке в стационарной камере. Тепловая обработка состояла из трёх этапов: обжарка, варка, охлаждение. Обжарка – при этом условия процесса: t=90-100 °С, т=20 минут. Происходило подсушивание оболочки, придание фаршу красного оттенка, в результате внутренняя температура батона достигала 40 °С. Варка – условия процесса: t=80 °С, φ=100%, т=60 минут. В термокамеру подавалась смесь пара и воздуха и варка продолжалась до достижения внутренней температуры батона 70-72 °С. Охлаждение проводилось водой до 15 °С. Следующий процесс – это сортировка колбас и подготовка к отгрузке в соответствии с нормативными документами и санитарно-ветеринарными нормами. Транспортировка и хранение осуществляли при t= 0-8°С. Срок хранения колбасного изделия 40 дней при температуре 4°С, φ=70 %.

Обсуждение научных результатов

Готовое колбасное изделие было исследовано на ряд показателей. Для сравнительного анализа было выбрано изделие колбаса варённая «Фирменная». В таблице 4 показаны физико-химические показатели колбасного изделия.

Таблица 4 – Физико-химические показатели колбасных изделий (опыт, контроль)

Показатель	Контроль	Опыт
pH, ед	6,4±0,01	6,5±0,02
Водосвязывающая способность (ВСС), %	72±0,02	78±0,01
Предельное напряжение сдвига, Па	1340±0,01	1500±0,02
Активность воды, ед	0,94±0,02	0,98±0,01
Массовая доля соли, %	2,5±0,01	1,5 ±0,02
Массовая доля нитрит натрия , %	0,005 ±0,02	-
Массовая доля влаги, %	60±0,01	52±0,01

Полученные исследования показывают, что опытный образец содержал меньшее количества соли, у него была более высокая водосвязывающая способность, что объясняется наличием в составе свекольного порошка, который удерживает воду. Активность воды у опытного образца была выше, что объясняется наличием в изделии флавоноидов, которые повышают антиоксидантную активность колбасного изделия. В таблице 5 представлена пищевая ценность опытного и контрольного колбасного изделия.

Таблица 5 – Пищевая ценность опытного и контрольного образца колбасного изделия в 100 г

Наименование показателя	Контроль	Опыт
Массовая доля жира, %	21±0,02	15±0,02
Массовая доля белка, %	11±0,21	14±0,11
Калорийность, ккал	232±0,01	213±0,01

Анализ данной таблицы показывает, что опытный образец имел более низкое содержание жира, более высокое содержание белка, что связано особенностью рецептурного состава обоих образцов.

Было исследовано содержание витаминов, которое представлено в таблице 6.

Таблица 6 – Содержание витаминов в колбасных изделиях (опыт, контроль) в 100 г

Витамины	Контроль	Опыт
Ретинол А, мкг	10±0,02	60±0,03
Тиамин В1, мкг	220±0,01	280±0,02
Пиридоксин В6, мг	1,8±0,03	3,5±0,01
Фолиевая кислота В9, мкг	3,2±0,01	3,9±0,01
Витамин Е, мг	0,3±0,02	0,91±0,02
Никотиновая кислота РР, мг	4,9±0,01	5,5±0,03

Анализ данных демонстрирует, что максимальное количество витаминов наблюдалось в опытном образце, то есть преобладало над контрольным образцом. В опытном образце содержание ретинола увеличилось в 6 раз, витамина В6 – в 2 раза, витамина Е – в 3 раза, витамина РР – в 1,1 раз, количество фолиевой кислоты – в 1,21 раз.

Исследовалось содержание минеральных веществ. Результаты анализа минерального состава представлены на рисунке 3.

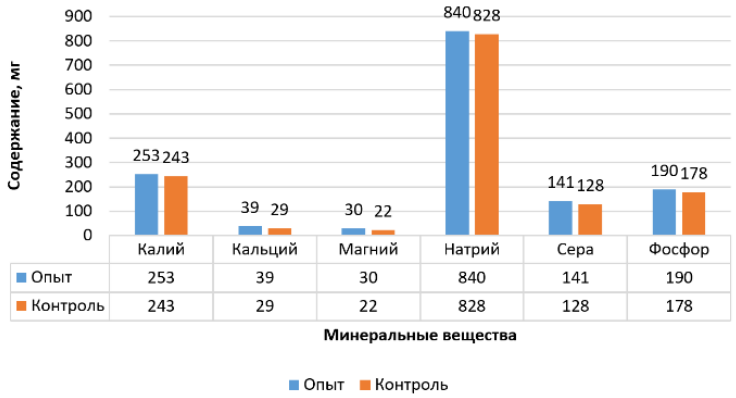


Рисунок 3 – Содержание минеральных веществ в опытном и контрольном образце в 100 г

Добавление свекольного порошка и экстракта зверобоя способствовало увеличению содержания минеральных веществ в опытном образце, в контрольном же количество было ниже. Содержание калия увеличилось на 4%, кальция, магния – на 5%, серы – на 10%, фосфора – на 7% по сравнению с контрольным образцом.

Экстракт зверобоя, свекольный порошок позволили обогатить колбасное изделие биологически активными веществами – природными антиоксидантами, витаминами, минеральными элементами и пищевыми волокнами, что повысило его пищевую и функциональную ценность.

Заключение

Разработанная технология показывает возможности использования экстракта ферментированного зверобоя и свекольного порошка в качестве антиоксидантной добавки, позволяющей улучшить качественные показатели колбасных изделий, повысить биологическую ценность (содержание витаминов и минеральных веществ). Применение экстракта зверобоя увеличило сроки хранения колбасного изделия на 10 дней, что является немаловажным фактором для производителей. Полученные исследования дают основания для будущего изучения применения экстракта зверобоя в фаршевых системах.

Список литературы

1. Antimicrobial Effects of Basil, Summer Savory and Tarragon Lyophilized Extracts in Cold Storage Sausages / A. Macari et al // Molecules. – 2021. – № 26. – P. 6678.
2. Цурупа М.А. Методы получения CO2 экстрактов фитосырья и их применение в рыбной и мясной продукции / М.А. Цурупа, Л.В. Боровская // The Scientific Heritage. – 2021. – № 81-2. – С. 41-43.
3. Здоровые рационы в популяционных пищевых моделях как компонент профилактики сердечно-сосудистых заболеваний: Японская диета и рацион Окинавы / О.Б. Швабская и др. // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. – 2022. – Т. 18, № 6. – С. 692-702.
4. Шпакевич Н.А. Современные технологии продуктов питания функционального назначения // Актуальные исследования. – 2024. – № 40(222). – С. 36-39.
5. Перспективы фортификации мясных вареных изделий из мяса птицы бурыми водорослями / О.В. Табакаева и др. // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2025. – № 1, Т. 71. – С.81-91.
6. Inhibitory effect of natural extract mixtures on microbial growth and lipid oxidation of sausages during storage / S.H. Woo et al // Journal of Animal Science and Technology. – 2023. – Т. 65, № 1. – P. 225.
7. The effect of essential oil and extract from sage (Salvia officinalis L.) herbal dust (food industry by-product) on the oxidative and microbiological stability of fresh pork sausages / Branislav Šojić et al // LWT. – 2018. – Vol. 89. – P. 749-755.
8. Black and green tea (Camellia sinensis L.) extracts as natural antioxidants in uncured pork sausages / B.C. Jayawardana et al // Journal of food processing and preservation. – 2019. – Т. 43, – № 2. – P. e13870.
9. Galal A. Evaluation of the antioxidant and antimicrobial effects of ziziphus leaves extract in sausage during cold storage / A. Galal, M.A.-Sh. Abdel-Samie, D. Zaki. – 2016. – P. 10-20.
10. Antioxidant and antimicrobial activity of drumstick (Moringa oleifera) leaves in herbal chicken sausages / B.C. Jayawardana et al // LWT-Food Science and Technology. – 2015. – Т. 64, № 2. – P. 1204-1208.
11. ГОСТ EN 14663-2014 Определение витамина B6 (включая гликозилированные формы) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Введен. 25.06.2014. М.: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
12. Antioxidant activities of chokeberry extracts and the cytotoxic action of their anthocyanin fraction on HeLa human cervical tumor cells / D. Rugina et al // Journal of Medicinal Food. – 2012. – V. 15, № 8. – P. 700-706.
13. ГОСТ 8558.1-78 Продукты мясные. Методы определения нитрита. Введен 01.01.1981. – М.: Стандартинформ,1981. – 12 с.
14. ГОСТ 9793-74 Продукты мясные. Методы определения влаги. Введен 01.01.1975. – М.: Стандартинформ,1975. – 5 с.
15. ГОСТ 9957-73 Колбасные изделия и продукты из свинины, баранины и говядины. Метод определения хлористого натрия. Введен 01.07.1974. – М.: Стандартинформ,1974. – 5 с.

16. ГОСТ 26180-84 Методы определения аммиачного азота и активной кислотности (ph). Введен 01.07.1974. – М.: Стандартинформ,1984. – 8 с.
17. ГОСТ ISO 21807-2015. Определение активности воды. Введен 01.07.2017. – М.: Стандартинформ, 2016. – 15 с.

References

1. Antimicrobial Effects of Basil, Summer Savory and Tarragon Lyophilized Extracts in Cold Storage Sausages / A. Macari et al // Molecules. – 2021. – № 26. – R. 6678. (In English).
2. Tsurupa M.A. Metody polucheniya CO2 ehkstraktov fitosyr'ya i ikh primenenie v rybnoi i myasnoi produktsii / M.A. Tsurupa, L.V. Borovskaya // The Scientific Heritage. – 2021. – № 81-2. – C. 41-43. (In Russian).
3. Zdorovye ratsiony v populyatsionnykh pishchevykh modelyakh kak komponent profilaktiki serdechno-sosudistykh zabolevanii: Yaponskaya dieta i ratsion Okinavy / O.B. Shvabskaya i dr. // Ratsional'naya farmakoterapiya v kardiologii. – 2022. – T. 18, № 6. – S. 692-702. (In Russian).
4. Shpakevich N.A. Sovremennye tekhnologii produktov pitaniya funktsional'nogo naznacheniya // Aktual'nye issledovaniya. – 2024. – № 40(222). – S. 36-39. (In Russian).
5. Perspektivy fortifikatsii myasnykh varenykh izdelii iz myasa ptitsy burymi vodoroslyami / O.V. Tabakaeva i dr. // Nauchnye trudy Dal'rybvtuza. – 2025. – № 1, T. 71. – S.81-91. (In Russian).
6. Inhibitory effect of natural extract mixtures on microbial growth and lipid oxidation of sausages during storage / S.H. Woo et al // Journal of Animal Science and Technology. – 2023. – T. 65, № 1. – R. 225. (In English).
7. The effect of essential oil and extract from sage (Salvia officinalis L.) herbal dust (food industry by-product) on the oxidative and microbiological stability of fresh pork sausages / Branislav Šojić et al // LWT. – 2018. – Vol/ 89. – P/ 749-755. (In English).
8. Black and green tea (Camellia sinensis L.) extracts as natural antioxidants in uncured pork sausages / B.C. Jayawardana et al // Journal of food processing and preservation. – 2019. – T. 43, – № 2. – R. e13870. (In English).
9. Galal A. Evaluation of the antioxidant and antimicrobial effects of ziziphus leaves extract in sausage during cold storage / A. Galal, M.A.-Sh. Abdel-Samie, D. Zaki. – 2016. – R. 10-20. (In English).
10. Antioxidant and antimicrobial activity of drumstick (Moringa oleifera) leaves in herbal chicken sausages / B.C. Jayawardana et al // LWT-Food Science and Technology. – 2015. – T. 64, № 2. – R. 1204-1208. (In English).
11. GOST EN 14663-2014 Opredelenie vitamina V6 (vklyuchaya glikozilirovannye formy) metodom vysokoehffektivnoi zhidkostnoi khromatografii. Vveden. 25.06.2014. – M.: Standartinform, 2014. – 18 s. (In Russian).
12. Antioxidant activities of chokeberry extracts and the cytotoxic action of their anthocyanin fraction on HeLa human cervical tumor cells / D. Rugina et al // Journal of Medicinal Food. – 2012. – V. 15, № 8. – P. 700-706. (In English).
13. GOST 8558.1-78 Produkty myasnye. Metody opredeleniya nitrita. Vveden 01.01.1981. – M.: Standartinform,1981. – 12 s. (In Russian).
14. GOST 9793-74 Produkty myasnye. Metody opredeleniya vlagi. Vveden 01.01.1975. – M.: Standartinform,1975. – 5 s. (In Russian).
15. GOST 9957-73 Kolbasnye izdeliya i produkty iz svininy, baraniny i govyadiny. Metod opredeleniya khloristogo natriya. Vveden 01.07.1974. – M.: Standartinform,1974. – 5 s. (In Russian).
16. GOST 26180-84 Metody opredeleniya ammiachnogo azota i aktivnoi kislotnosti (ph). Vveden 01.07.1974. – M.: Standartinform,1984. – 8 s. (In Russian).
17. GOST ISO 21807-2015. Opredelenie aktivnosti vody. Vveden 01.07.2017. – M.: Standartinform,2016. – 15 s. (In Russian).

Ф.Х. Смольникова*, Б.К. Асенова[1], Ш.Б. Байтукенова[2], Г.Т. Жуманова[1], Ж.М. Атамбаева[1]
[1]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки көшесі, 20 А
[2]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
010000, Астана қ., Жеңіс даңғылы 62
*e-mail: smolnikovafarida@mail.ru

ФЕРМЕНТТЕЛГЕН СӘБІРТІКЕН ШӨП СЫҒЫНДЫСЫ ҚОСЫЛҒАН ШҰЖЫҚ ӨНІМІН ДАЙЫНДАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Бұл мақалада ферменттелген сәбіртікен шөптің су өсімдік сығындысын пайдалана отырып, шұжық өнімін дайындау технологиясы қарастырылған. Дәрілік өсімдіктердің экстракттары тағам өнімдеріне қосылған кезде дайын өнімдерге бірқатар пайдалы қасиеттер бере алады, мысалы: антиоксиданттық, функционалдық, дәмдік және хош иістік қасиеттер, сондай-ақ табиғи бояғыш ретінде қызмет атқара алады. Бүгінде бұл ет өнімдерін өндіруде жаңа тренд болып табылады.

Шұжық өніміне келесі компоненттер кірді: 1-сортты сиыр еті, тауық филесі, майсыз сүт, тауық жұмыртқасы, қызылша ұнтағы, ферменттелген сәбіртікен сығындысы. Ферменттелген шайқурайдың ферменттелмегенімен салыстырғанда айтарлықтай артықшылықтары бар – оның пайдалы қасиеттері күшейеді. Бірнеше сығынды рецептуралары дайындалып, су мен сәбіртікеннің 80:20 қатынасы В6 дәруменінің жоғары мөлшерін және флавоноидтардың көп болуын қамтамасыз ететіні анықталды, бұл оларды антиоксиданттық компонент ретінде пайдалануға негіз береді.

Шұжық өнімінің функционалдық қасиеттерін қызылша ұнтағы береді, ол тағамдық талшықтардың, минералдық заттар мен дәрумендердің көзі болып табылады және табиғи бояғыш ретінде де қолданылады.Химиялық құрамды зерттеу үшін стандартты зерттеу әдістері қолданылды, мәліметтерді өңдеу үшін Excel бағдарламасымен статистикалық талдау жүргізілді. Тәжірибелік пісірілген шұжық өнімін өндіру дәстүрлі технологиялық сызба бойынша жүзеге асырылды. Дайын өнімде химиялық құрамы мен физика-химиялық көрсеткіштері талданды. Зерттеу нәтижелері бойынша тәжірибелік үлгі бақылау үлгісімен салыстырғанда көрсеткіштері бойынша артықшылыққа ие болған және сақтау мерзімі ұзағырақ – 40 тәулік болған.

Түйін сөздер: *пісірілген шұжық, сығындылар, технология, қызылша сығындысы, сәбіртікен, антиоксиданттық қасиеттер.*

F.H. Smolnikova[*], B.K. Asenova[1], Sh.B. Baitukenova[2], G.T. Zhumanova[1], Zh.M. Atambayeva[1]
[1]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinki Street
[2]S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University,
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, 62 Zhenis Avenue
[*]e-mail: smolnikovafarida@mail.ru

TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF SAUSAGE PRODUCT WITH A PLANT EXTRACT FROM FERMENTED ST. JOHN'S WORT

This article discusses the technology for producing a sausage product using an aqueous plant extract of fermented St. John's wort. Extracts of medicinal plants, when added to food products, can have a number of useful properties on finished products, such as antioxidant, functional, flavoring, and act as a natural dye. Today, this is a new trend in the production of meat products. The composition of the sausage included the following components: first-grade beef, chicken fillet, skimmed milk, chicken eggs, beetroot powder, and an extract of fermented St. John's wort. Fermented St. John's wort has significant advantages over unfermented – its beneficial properties are enhanced. Several extract formulations were prepared, showing that the ratio of water to St. John's wort of 80:20 yielded higher values of vitamin B6 and flavonoid content. These indicators justify its use as an antioxidant component. The functional properties of the sausage product are given by beetroot powder, which is a source of dietary fiber, minerals, vitamins, and is also a natural dye. Standard research methods were used to analyze the chemical composition, and statistical data processing was carried out using Excel. The production technology of the experimental cooked sausage followed a traditional technological scheme. The final product was analyzed for chemical composition and physicochemical properties. The results of the study showed that the prototype had preferential values of indicators compared to the control and longer shelf life - 40 days.

Key words: *cooked sausage, extracts, technology, beetroot pomace, St. John's wort, antioxidant properties.*

Сведения об авторах

Фарида Харисовна Смольникова* – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Пищевые технологии»; Шәкәрім университет, Казахстан; e-mail: smolnikovafarida@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8777-5313.

Бахыткуль Кажкеновна Асенова – кандидат технических наук, профессор кафедры «Пищевая технология»; Шәкәрім университет, Казахстан; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-8707-9725.

Шолпан Байдильдаевна Байтукенова – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Казахстан; e-mail: baytukenova75@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-0200-8455.

Гульнара Токеновна Жуманова – PhD кафедры «Пищевая технология»; Шәкәрім университет, Казахстан; e-mail: g-7290@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1785-2739.

Жибек Манаповна Атамбаева – ст.преподаватель кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университет, Казакстан; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7899-870X.

Авторлар туралы мәліметтер

Фарида Харисқызы Смольникова* – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: smolnikovafarida@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8777-5313.

Бахыткуль Кажкенқызы Асенова – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ технологиясы» кафедрасының профессоры; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-8707-9725.

Шолпан Байдильдайқызы Байтукенова – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессорының, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан; e-mail: baytukenova75@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0200-8455.

Гүлнара Төкенқызы Жұманова – «Тамақ технологиясы» кафедрасының PhD, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: g-7290@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1785-2739.

Жибек Манапқызы Атамбаева – «Тамақ технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7899-870X.

Information about the authors

Farida Smolnikova* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Food Technology», Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: smolnikovafarida@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8777-5313.

Bakhytkul Asenova – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Technology; Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-8707-9725.

Sholpan Baytukenova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food and Processing Industries, S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University, Kazakhstan; e-mail: baytukenova75@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0200-8455.

Gulnara Zhumanova – PhD, Department of Food Technology; Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: g-7290@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1785-2739.

Zhibek Atambayeva – senior lecturer of the Department of Food Technology, Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7899-870X.

Поступила в редакцию 05.06.2025
Поступила после доработки 24.08.2025
Принята к публикации 25.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-44

CC BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 65.53.29

А.У. Шингисов, И.А. Махатова, Э.У. Майлыбаева, У.У. Тастемирова*, А.Ж. Шиналиева
Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова,
160000, Республика Казахстан г. Шымкент,пр.Тауке-хана,5
*e-mail: ib_tu@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПЛОДООВОЩНОГО-ЯГОДНОГО ДЕСЕРТА «КИЁМА»

Аннотация: *В статье приведены результаты исследования органолептических показателей и минерального состава плодоовощного-ягодного десерта «киёма».*

Целью данного исследования является разработка рецептуры и оптимальной технологии приготовления плодоовощного-ягодного десерта «киёма» функционального назначения на основе комбинации растительных ингредиентов. Продвижение натуральных десертов на основе фруктов и овощей, таких как киём, может способствовать улучшению структуры питания, если они замещают менее полезные сладкие продукты.

Проведённые исследования подтвердили, что плодоовощные-ягодные десерты «Киёма», разработанные на основе растительного сырья, обладают высокими потребительскими качествами. Органолептическая оценка образцов показала, что все пять рецептурные образцы

получили наивысшие баллы (в диапазоне 4,75), в то время образец № 5 продемонстрировал сравнительно незначительно высокий результат – 5 баллов.

Анализ минерального состава выявил наличие жизненно важных макро- и микроэлементов, включая калий, магний, кальций, фосфор, алюминий и кремний, что позволяет рассматривать данные десерты как потенциальный источник минеральных веществ в рационе. Введение в рецептуру сока дыни позволило не только снизить общее содержание сахаров, но и повысить функциональные характеристики продукта.

Установлено, что разработанная технологическая схема производства десерта обеспечивает максимальное сохранение биологически активных соединений растительного происхождения, минимизируя их термическое разрушение в процессе приготовления.

Ключевые слова: *плодоовощной – ягодный десерт; минеральный состав; органолептические показатели; киёма; местное растительное сырье.*

Введение

В условиях современных тенденций в области здорового и функционального питания особое внимание уделяется разработке пищевых продуктов, обладающих повышенной биологической ценностью. Одним из перспективных направлений является создание десертов на основе натурального растительного сырья, включая плоды, овощи, фрукты и ягоды, богатые витаминами, минеральными веществами и антиоксидантами [1]. Подобные разработки способствуют формированию ассортимента продуктов, соответствующих концепции «чистой этикетки» и растущему потребительскому спросу на натуральность [2].

Фруктово-ягодные кондитерские изделия представляют собой группу продуктов, изготавливаемых на основе переработанного плодово-ягодного сырья с добавлением сахарозы и вспомогательных технологических компонентов, таких как желирующие агенты, органические пищевые кислоты, ароматические и красящие вещества. Указанная продукция характеризуется высокой энергетической ценностью и одновременно является источником биологически активных соединений, в числе которых – витамины, минеральные элементы и антиоксиданты. Кроме того, изделия данного типа обладают выраженными органолептическими показателями, определяющими их потребительскую привлекательность [3]. Ассортимент фруктово-ягодных кондитерских изделий классифицируется на две основные группы: изделия с жидкой или неоформленной гелеобразной консистенцией – к ним относят варенье, джем, желе, повидло, киёма; а также изделия с плотной, формоустойчивой структурой – такие как мармелад, пастила и конфитюр. Разделение обусловлено особенностями текстуры, технологией производства и содержанием студнеобразующих компонентов [4].

Киёма представляет собой разновидность фруктово-овощного сладкого продукта, сходного с вареньем, однако обладающего рядом технологических особенностей. В процессе приготовления киёма соотношение воды и сахара, используемых для варки сиропа, как правило, составляет 1:1 или даже с превышением объёма воды, тогда как доля основного растительного сырья (фруктов или овощей) не превышает 25 % от общего объема. Именно по этой причине изделие часто классифицируют как «жидкое варенье», хотя по своей структуре и способу приготовления оно имеет отличительные черты.

Киёмы традиционно широко распространены в кухне народов Средней Азии, особенно в Узбекистане. Технология их приготовления предполагает однократную термическую обработку без перерывов, при этом варка осуществляется на слабом огне с равномерным кипением, что особенно важно при использовании овощного сырья. В рецептуре киёмов обязательным компонентом являются пряности: наиболее часто добавляют ванилин, шафран, цедру цитрусовых или лимонный сок, что придаёт продукту характерные органолептические свойства [5].

Фруктово-овощные десерты, включая киёмы, представляют интерес как традиционный компонент питания в странах Центральной Азии. Однако их потребление в Казахстане практически не отражено в статистике, несмотря на высокую популярность фруктов и ягод в рационе населения.

С 2001 по 2018 годы среднедушевое потребление фруктов в Казахстане удвоилось, при этом рост в сельской местности оказался значительно выше (повышение на 171 %) по сравнению с городскими территориями [6]. В 2024 году среднегодовое потребление фруктов на душу населения составило около 80,2 кг, что на 5,1 % превышает уровень 2023 года [7]. Во

втором квартале 2024 года показатель достиг 16,5 кг в годовом исчислении, из них наиболее популярны – яблоки, бананы и клубника [8].

В 2024 году среднедушевое потребление сахара, джема, мёда, шоколада и кондитерских изделий составило около 43,1 кг – рост на 1,9 % по сравнению с предыдущим годом [9]. Из них за джем и варенье приходится незначительная часть, но именно традиционные фруктово-овощные десерты (как киёма) не выделены в статистике отдельно.

Хотя массовые данные о конкретном потреблении киёмов в Казахстане отсутствуют, их можно рассматривать как часть категории «джемов и варенья», включённой в общую группу сладостей (43,1 кг на душу). Эти десерты, как правило, потребляются изредка, по традиции, а не регулярной частью повседневного рациона.

Потребительские опросы и исследования пищевых привычек указывают, что казахстанцы в значительной степени отдают предпочтение натуральным ингредиентам: более половины выбирают перекусы без красителей и консервантов, а национальные сладости остаются популярными в сегменте снеков [10].

Несмотря на недостаток специфических данных, можно заключить, что киёмы входят в состав общего потребления фруктово-овощных десертов в Казахстане, однако с незначительным удельным весом. С учётом растущей популярности натуральных и традиционных продуктов, дальнейшее изучение производства и потребления киёмов может расширить знания о пищевых привычках и способствовать разработке программ ответственного питания.

Продвижение натуральных десертов на основе фруктов и овощей, таких как киём, может способствовать улучшению структуры питания, если они замещают менее полезные сладкие продукты.

Целью данного исследования является разработка рецептуры и оптимальной технологии приготовления плодоовощного-ягодного десерта «киёма» функционального назначения на основе комбинации растительных ингредиентов.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

– обоснование выбора местного растительного сырья, структурообразующих компонентов и заменителя сахара;

– определение оптимальной концентрации вводимых структурообразователей;

– разработка рецептуры и технологии приготовления киёмов из различных овощей, фруктов и ягод (нутриентов и антиоксидантов);

– исследование влияния введённых растительных добавок на органолептические характеристики и минеральный состав полученных образцов;

– обоснование функциональных свойств разработанного продукта и оценка его эффективности при применении в питании.

Разрабатываемый плодоовощной – ягодный десерт «киёма» относится к категории функциональных пищевых продуктов и создаётся на основе местного экологически чистого растительного сырья, обогащённого природными антиоксидантами и нутриентами. Применение дынного сока в качестве заменителя сахара позволяет повысить диетическую ценность продукта, а также расширяет спектр его положительного воздействия на здоровье потребителей. Для приготовления конфитюра было отобрано растительное сырьё, богатое витаминами и антиоксидантами, произрастающее в Южном Казахстане. В качестве вкусоароматического компонента использовались соки и пюре из местных плодов и овощей: чернослива, апельсина, абрикоса, яблока, лимона, кабачка, моркови и тыквы, а также ягод – клюквы, облепихи, шиповника, малины, дыни и киви. Для улучшения вкусовых характеристик десерта ягоды и фрукты сочетались с дынным соком. А для придания функциональности были давлены ревень, шафран, куркума и имбирь.

Объекты и методы исследования

В исследовании представлены пять образцов плодоовощного-ягодного десерта «Киёма», созданные на основе следующих сырьевых ингредиентов: сливы, апельсины, абрикосы, яблоки, клюква, облепиха, малина и дыня. Сырьё было приобретено у ТОО «Амангельды», СПК «Елнур Айдар» и компании Melon Juice Co.

Органолептическая оценка готовых образцов проводилась по пятибалльной шкале в соответствии с ГОСТ 34113- 2017.

Минеральный состав исследованных образцов определялся с помощью растрового электронного микроскопа JSM 6490LV (JEOL, Япония) в лаборатории «Конструкционные и биохимические материалы» ЮКУ имени М. Ауэзова.

Подготовка образцов и проведение исследования:

– Образцы представляют собой тонкоплёночные срезы, фиксированные на специальных держателях, сгруппированные и скреплённые между пластинами, залитыми легкоплавкой серой.

– После полировки образец крепится на двустороннюю клейкую ленту и обдувается струёй очищенного воздуха.

– Микроскоп работает в условиях высокого вакуума; установлены ускоряющее напряжение 20 кВ, диаметр электронного зонда 40 нм и эксцентрический наклон стола 0°. Получение изображения осуществляется с использованием вторичных электронов.

– Рентгеновский микроанализ осуществлялся с помощью программного обеспечения INCA ENERGY AnalyserNavigator. После регистрации спектра рентгеновского излучения производилась идентификация пиков соответствующих элементов.

Выводимые результаты:

– Микрофотоснимки макро и микроструктуры образцов с увеличением от 50 до 3000 крат.

– Для каждой пробы определены атомный и весовой состав элементов, а также дифракционные характеристики образцов.

– Все данные сохраняются в электронном виде для последующего анализа.

Технологический процесс производства плодоовощного-ягодного киёмы

Первый этап, подготовка сырья включает следующие операции:

– отбор и прием сырья – проверка качества плодов, овощей и ягод (сорт, степень зрелости, пригодность);

– промывка и очистка сырья – удаление сердцевины, кожуры, семян;

– механическая обработка – резка на кусочки очищенные плоды и овощи, отделение цитрусовых на дольки, мелкая терка цедры лимона, имбиря, отжим сока дыни, при необходимости фильтрация от твердых частиц.

Следующий этап – приготовление смесей:

– отмеривание куркумы, шафрана, имбиря и цедры лимона, сиропов сахара и дыни;

– смешивание – все растительные компоненты загружаются в емкость и заливают сверху сиропом из сахара или дыни.

Третий этап – термическая обработка, включает варку при температуре 90°С на слабом огне в течение 1-1,5 часов, доведя киёмы до готовности (учитывая 3 этапы варки с интервалами по времени 5 минут варки и 20 минут охлаждения смеси до 30-40°С). После варки добавляют специи куркуму, шафран, имбирь, цедру лимона и перемешивают для придания киёме аромат и вида.

И последний этап технологического процесса включающий розлив в тары (в горячем состоянии), герметизация (закрывают крышкой), далее готовый продукт охлаждают и отправляют на хранение в прохладное, тёмное, сухое место.

Готовность киёмов, как и варенья, определяют по состоянию сиропа и растительных компонентов. Сироп должен быть умеренной плотности и тягучести, но не водянистый.

Фрукты, ягоды и овощи в хорошо сваренном киёме должны равномерно распределяться в сиропе и быть прозрачными.

В качестве приготовления киёмы были разработаны 5 (пять) образцов различных рецептур в сочетании следующих компонентов:

Образец 1. Приготовленные компоненты: яблоки, киви, кабачки, ревень заливают сахарным сиропом и варят на медленном огне до готовности киёмы. После варки в горячий киём добавляют мелко натёртый имбирь для придания аромата и перемешивают.

Образец 2. Приготовленные абрикосы, облепиху, дольки лимона и апельсина заливают сахарным сиропом и варят на медленном огне до готовности киёмы. После варки в горячий киём добавляю куркуму для придания аромата, вида и перемешивают.

Образец 3. Мелко нарезанные ломтики тыквы, моркови, абрикоса загружают в емкость, сверху кладут дольки лимона, апельсина и заливают сиропом дыни, после чего варят на

медленном огне до готовности киёмы, после варки в горячий киём добавляют шафран для придания аромата и перемешивают.

Образец 4. Мелко нарезанные сливы кладут в емкость, сверху накладывают дольки апельсина и засыпают ягодами малины, клюквы и заливают сиропом сахара, после чего варят на медленном огне до готовности киёмы. После варки заливают в тары, герметизируют и охлаждают.

Образец 5. Яблоко, абрикос и дольки апельсина заливают сиропом дыни и варят на медленном огне до готовности киёмы. После варки для придания аромата в горячий киём засыпают цедру лимона и перемешивают.

При приготовлении рецептов киёмы был проведен подбор плодов, ягод и овощей в зависимости от сочетаемости функциональных свойств, цветовых, вкусовых и ароматических показателей.

Выбранное сырье является источником биологически активных веществ, обеспечивающих многофункциональный профилактический эффект. Это сырье экологически чистое и доступно в нашем регионе.

Результаты исследований и их обсуждение

В процессе экспериментальной разработки рецептур плодоовощного-ягодного десерта «киёма» было проанализировано пять различных образцов композиционного состава, включающих комбинации фруктов, овощей и ягод в различных пропорциях (табл. 1). Отличительной особенностью представленных образцов являлось варьирование соотношения растительных ингредиентов с целью оптимизации вкусовых и текстурных характеристик.

Таблица 1 – Образцы рецептур киёмы

№	Наименование	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4		№ 5	
		кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
1	Сироп сахарный	270	29,30	270	34,61			250	24,27		
2	Сироп дыни					270	29,33			280	28,88
3	Киви	200	21,70								
4	Кабачок	250	27,13								
5	Яблоко	100	10,85							250	26,74
6	Имбирь	1,5	0,16								
7	Ревень	100	10,85								
8	Абрикос			250	32,04	250	27,16			250	26,74
9	Облепиха			160	20,51						
10	Лимонные дольки			50	6,41	50	5,43				
11	Апельсиновые дольки			50	6,41	50	5,43	50	4,85	150	16,04
12	Куркума			0,2	0,03						
13	Тыква					200	21,73				
14	Морковь					100	10,86				
15	Шафран					0,5	0,05				
16	Малина							290	28,16		
17	Клюква							200	19,42		
18	Слива							240	23,30		
19	Цедра лимона									20	1,60
20	Вода	78,5		219,8		79,5				50	
	ВСЕГО	1000	100,0	780,2	100,0	920,5	100,0	1030	100,0	1000	100,0

Органолепические свойства опытных образцов десерта «Киёма» представлены в сводной таблице 2.

По результатам органолептической оценки наивысший балл был присвоен образцу 5, который показал высокое качество по всем органолептическим показателям. Также остальные образцы рецептур показали тоже очень хорошие результаты по органолептическим характеристикам.

Таблица 2 – Органолептические показатели киёмы

№	Наименование	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
1	Внешний вид	Мутное, имеется крупнозернис-тое сырье	Товарный вид хороший	Товарный вид хороший, однородный	Товарный вид хороший, однородный	Продукты цельные, однородные. Товарный потребительский востребованный вид
	Балл	4	5	5	5	5
2	Вкус и запах	Имеет нежный вкус, сладкий. Имеет запах нежного кабачка	Имеет ярко выраженный натуральный запах облепихи, вкус нежный, сладкий, приятный	Имеет нежный вкус, сладкий, чувствуется клетчатки сырья.	Выраженный запах малины	Имеет вкус нежного абрикоса с яблочным ароматом, сладко-нежный на вкус
	Балл	5	4	4	4	5
3	Цвет	Зеленый	Цвет светло-прозрачный, янтарного цвета	Цвет приятный, янтарный	Цвет красный, малиновый	Цвет светло-желтый, прозрачный
	Балл	5	5	5	5	5
4	Консистенция	Густой	Однородный, густой, характерный для киемы	Густой	Однородный, густой, характерный для киемы	Густой, характерный для киемы
	Балл	5	5	5	5	5
	Среднебалльный показатель	4,75	4,75	4,75	4,75	5

Органолептическая характеристика исследуемых образцов была проведена с использованием пятибалльной шкалы оценки, соответствующей нормативным требованиям. Полученные результаты сенсорного анализа представлены на рисунке 1.

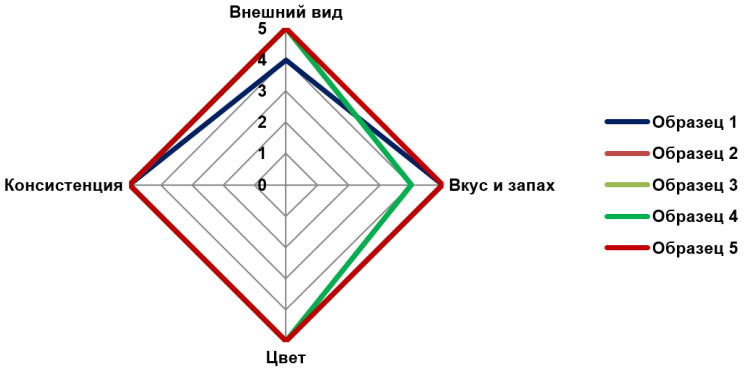


Рисунок 1 – Графическое представление результатов органолептической оценки различных рецептурных образцов десерта «Киёма»

На основании проведённой сенсорной экспертизы незначительный высокий балл был присвоен образцу под номером 5, который продемонстрировал сравнительно наилучший показатель по всем оценочным критериям, включая вкус, аромат, консистенцию и внешний вид.

Результаты анализа минерального состава образцов плодоовощного-ягодного десерта «Киёма» представлены на рисунке 2, где отражено содержание макро- и микроэлементов. Обработка хроматографических данных и визуализация спектральных характеристик представлены на рисунке 3.

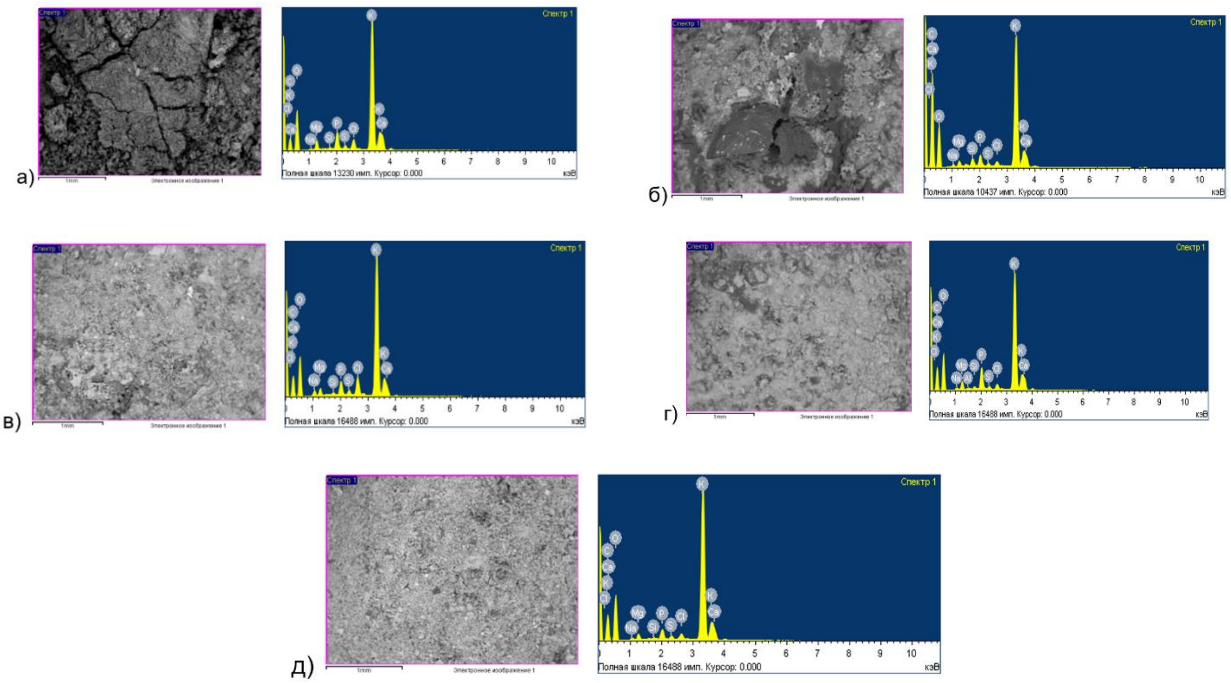


Рисунок 2 – Зольная структура и хроматографические профили образцов плодоовощного-ягодного десерта «Киёма»
а) образец 1; б) образец 2; в) образец 3; г) образец 4; д) образец 5

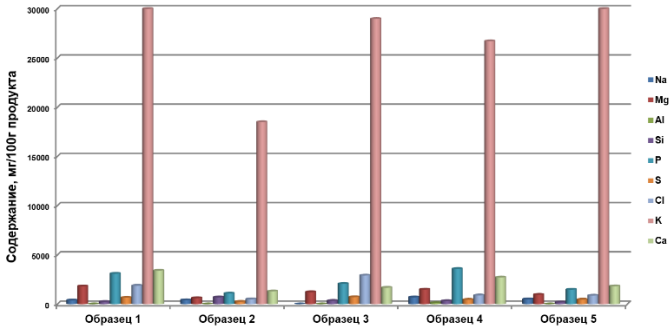


Рисунок 3 – Содержание минеральных элементов (мг/100 г продукта) в образцах плодоовощного-ягодного десерта «Киёма»

На основе результатов анализа минерального состава установлено, что все исследованные образцы десерта содержат элементы, необходимые для жизнедеятельности организма человека.

Для обеспечения сопоставимости с нормативными данными содержание микроэлементов пересчитано на стандарт 100 г продукта и выражено в мг/100 г.

Так, содержание натрия в образце № 3 составило 1530 мг/100 г, что выше по сравнению с остальными образцами, где его уровень варьировал в пределах 700 мг/100 г.

Концентрация магния оказалась выше в образцах № 1 и № 4, где она достигала 1820 мг/100 г и 1490 мг/100 г соответственно, в то время как в образцах № 2, № 3 и № 5 этот показатель составлял около 1230 мг/100 г.

Уровень кремния в образце № 2 также был выше – на 270-320 мг/100 г относительно других рецептур. Содержание фосфора во всех образцах находилось в диапазоне 1090-3590 мг/100 г.

В образце № 4 был выявлен алюминий в количестве 120 мг/100 г. Кроме того, содержание калия и кальция существенно варьировало между образцами: в образце № 5 концентрации этих элементов составили 31 080 мг/100 г и 1830 мг/100 г соответственно, тогда как в образце № 1 содержание калия достигло 31 850 мг/100 г, превысив значения, зафиксированные в остальных рецептурах.

Заключение

Проведённые исследования подтвердили, что плодоовощные-ягодные десерты «Киёма», разработанные на основе растительного сырья, обладают высокими потребительскими качествами. Органолептическая оценка образцов показала, что все пять рецептурные образцы получили наивысшие баллы (в диапазоне 4,75), в то время образец № 5 продемонстрировал сравнительно высокий результат – 5 баллов.

Анализ минерального состава выявил наличие жизненно важных макро- и микроэлементов, включая калий, магний, кальций, фосфор, алюминий и кремний, что позволяет рассматривать данные десерты как потенциальный источник минеральных веществ в рационе. Введение в рецептуру сока дыни позволило не только снизить общее содержание сахаров, но и повысить функциональные характеристики продукта.

Установлено, что разработанная технологическая схема производства десерта обеспечивает максимальное сохранение биологически активных соединений растительного происхождения, минимизируя их термическое разрушение в процессе приготовления.

Таким образом, предложенная технологическая методика способствует:

– эффективному использованию отечественного растительного сырья;

– сохранению природных витаминов и минералов в готовом продукте;

– расширению ассортимента функциональных пищевых продуктов.

Плодовоовощно-ягодные десерты, полученные в ходе исследования, соответствуют современным требованиям к продуктам здорового питания и обладают как высокой пищевой, так и профилактической ценностью.

Список литературы

1. Гаврилюк Н.П. Разработка функциональных десертов на основе растительного сырья / Н.П. Гаврилюк, И.В. Ковальчук, А.С. Мартынюк // Вестник Брянского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2(58). – С. 74-79.

2. Садыкова А.М. Перспективы использования дикорастущих ягод в производстве функциональных продуктов / А.М. Садыкова // Пищевая промышленность Казахстана. – 2022. – № 1. – С. 45-49.

3. Филимонова Н.А. Разработка рецептуры фруктово-ягодного десерта в условиях развития АПК Волгоградской области / Н.А. Филимонова, И.А. Бочкова, Л.В. Андреенко, Л.А. Минченко // Известия НВ АУК. – 2023. – № 3(71).

4. Ахметова С.В. Особенности пищевых приоритетов городского населения Казахстана в отношении высокогликемических и жиросодержащих продуктов / С.В. Ахметова, С.П. Терехин // Нутрициология и общественное здоровье. – 2015. – № 2. – С. 45-49.

5. Бобожонов Ш. Бухоро ҳолвагарлик ҳунари анъаналари / Ш. Бобожонов // Information Library Magazine «INFOLIB». – 2025. – № 2.

6. Analysis of the Food Consumption Mode and Its Influencing Factors in Kazakhstan / Y. Liang et al // Journal of Resources and Ecology. – 2020. – Vol. 11, № 1. – P. 121-127. https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2020.01.012.

7. Fruit and vegetable consumption and its socio-demographic determinants among the adult population of Kazakhstan / G. Albuquerque et al // International Journal of Public Health. – 2022. – Vol. 67. – Article 1604558. – https://doi.org/10.3389/ijph.2022.1604558.

8. ICE – Italian Trade Agency. Kazakhstan: рост потребления фруктов и сахара в 2024 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ice.it/it/news/notizie-dal-mondo/283382. – (дата обращения: 31.07.2025).

9. Helgi Library. Kazakhstan – Fruit Consumption [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.helgilibrary.com/indicators/fruit-consumption-total/kazakhstan/. – (дата обращения: 31.07.2025).

10. Эпидемиология питания казахстанской популяции / Л.М. Жамалиева и др. // Медицина. – 2019. – № 4. – С. 38-48. https://doi.org/10.31082/1728-452X-2019-202-4-38-48.

References

1. Gavrilyuk N.P. Razrabotka funktsional'nykh desertov na osnove rastitel'nogo syr'ya / N.P. Gavrilyuk, I.V. Koval'chuk, A.S. Martynyuk // Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – № 2(58). – S. 74-79. (In Russian).

2. Sadykova A.M. Perspektivy ispol'zovaniya dikorastushchikh yagod v proizvodstve funktsional'nykh produktov / A.M. Sadykova // Pishchevaya promyshlennost' Kazakhstana. – 2022. – № 1. – S. 45-49. (In Russian).
3. Filimonova N.A. Razrabotka retseptury fruktovo-yagodnogo deserta v usloviyakh razvitiya APK Volgogradskoi oblasti / N.A. Filimonova, I.A. Bochkova, L.V. Andreenko, L.A. Minchenko // Izvestiya NV AUK. – 2023. – № 3(71). (In Russian).
4. Akhmetova S.V. Osobennosti pishchevykh prioritetov gorodskogo naseleniya Kazakhstana v otnoshenii vysokoglikemicheskikh i zhirosoderzhashchikh produktov / S.V. Akhmetova, S.P. Terekhin // Nutritsiologiya i obshchestvennoe zdorov'e. – 2015. – № 2. – S. 45-49. (In Russian).
5. Bobozhonov SH. Bukhoro holvagarlik ҳunari ananalari / SH. Bobozhonov // Information Library Magazine «INFOLIB». – 2025. – № 2. (In Uzbek).
6. Analysis of the Food Consumption Mode and Its Influencing Factors in Kazakhstan / Y. Liang et al // Journal of Resources and Ecology. – 2020. – Vol. 11, № 1. – P. 121-127. https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2020.01.012. (In English).
7. Fruit and vegetable consumption and its socio-demographic determinants among the adult population of Kazakhstan / G. Albuquerque et al // International Journal of Public Health. – 2022. – Vol. 67. – Article 1604558. – https://doi.org/10.3389/ijph.2022.1604558. (In English).
8. ICE – Italian Trade Agency. Kazakhstan: rost potrebleniya fruktov i sakhara v 2024 godu [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.ice.it/it/news/notizie-dal-mondo/283382. – (data obrashcheniya: 31.07.2025). (In English).
9. Helgi Library. Kazakhstan – Fruit Consumption [Ehlektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.helgilibrary.com/indicators/fruit-consumption-total/kazakhstan/. – (data obrashcheniya: 31.07.2025). (In English).
10. Ehpidemiologiya pitaniya kazakhstanskoi populyatsii / L.M. Zhamalieva i dr. // Meditsina. – 2019. – № 4. – S. 38-48. https://doi.org/10.31082/1728-452X-2019-202-4-38-48. (In Russian).

Информация о финансировании

Авторы выражают благодарность Комитету науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан за поддержку в рамках программно-целевого финансирования научного проекта на тему «Разработка технологии производства фруктово-ягодных десертов (киёма и конфитюр), обогащённых природными нутриентами и натуральными антиоксидантами» (BR24993031).

А.У. Шингисов, И.А. Махатова, Э.У. Майлыбаева, У.У. Тастемирова*, А.Ж. Шиналиева
М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,
160000, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Тәуке хан даңғылы, 5
*e-mail: ib_tu@mail.ru

«КИЁМА» ЖЕМІС-КӨКӨНІС-ЖИДЕК ДЕСЕРТІНІҢ ОРГАНОЛЕПТИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ МЕН МИНЕРАЛДЫҚ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада «Киёма» жеміс-көкөніс-жидек десертінің органолептикалық көрсеткіштері мен минералдық құрамын зерттеу нәтижелері келтірілген.

Бұл зерттеудің мақсаты – өсімдік тектес компоненттер комбинациясы негізінде функционалдық мақсаттағы «Киёма» жеміс-көкөніс-жидек десертінің рецептурасын және оңтайлы технологиясын әзірлеу. Жемістер мен көкөністер негізіндегі табиғи десерттерді (мысалы, Киёма) ілгерілету аз пайдалы тәтті өнімдерді алмастырған жағдайда тамақтану құрылымын жақсартуға ықпал етуі мүмкін.

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша, өсімдік шикізаты негізінде әзірленген «Киёма» жеміс-көкөніс-жидек десерттері жоғары тұтынушылық сипаттамаларға ие екені дәлелденді. Органолептикалық бағалау нәтижесінде бес рецептуралық үлгінің барлығы жоғары ұпай жинады (орташа 4,75 балл), ал № 5 үлгісі ең жоғары – 5,0 балл нәтижесін көрсетті.

Минералдық құрамды талдау маңызды макро- және микроэлементтердің (калий, магний, кальций, фосфор, алюминий және кремний) бар екенін көрсетті. Бұл десерттерді күнделікті рациондағы минералды заттардың ықтимал көзі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Рецептураға қауын шырынын енгізу өнімдегі жалпы қант мөлшерін азайтып қана қоймай, оның функционалдық қасиеттерін арттырды.

Десертті өндірудің әзірленген технологиялық схемасы өсімдік текті биологиялық белсенді қосылыстардың максималды сақталуын қамтамасыз етіп, оларды дайындау үдерісінде термиялық бұзылуын барынша азайтуға мүмкіндік беретіні анықталды.

Түйін сөздер: *жеміс-көкөніс-жидек десерті; минералдық құрам; органолептикалық көрсеткіштер; киёма; жергілікті өсімдік шикізаттары.*

A.U. Shingisov, I.A. Makhatova, E.U. Mailybayeva, U.U. Tastemirova*, A.Zh. Shinaliyeva
M. Auezov South Kazakhstan University,
160000, Shymkent, Republic of Kazakhstan,Tauke Khan avenue, 5
*e-mail: ib_tu@mail.ru

STUDY OF ORGANOLEPTIC CHARACTERISTICS AND MINERAL COMPOSITION OF THE FRUIT-VEGETABLE-BERRY DESSERT «KIYOMA»

The article presents the results of a study on the organoleptic characteristics and mineral composition of the fruit-vegetable-berry dessert "Kiyoma".

The aim of this study is to develop a formulation and optimal preparation technology for the functional fruit-vegetable-berry dessert "Kiyoma" based on a combination of plant-based ingredients. Promoting natural desserts made from fruits and vegetables, such as Kiyoma, may contribute to improving dietary patterns when used as a substitute for less healthy sweet products.

The conducted research confirmed that the fruit-vegetable-berry desserts "Kiyoma", developed from plant raw materials, possess high consumer qualities. Organoleptic evaluation of the samples showed that all five formulated samples received high scores (in the range of 4.75), with sample No. 5 demonstrating a comparatively higher result of 5.0 points.

Mineral composition analysis revealed the presence of essential macro- and microelements, including potassium, magnesium, calcium, phosphorus, aluminum, and silicon, which makes these desserts a potential source of minerals in the human diet. The inclusion of melon juice in the formulation not only reduced the total sugar content but also enhanced the functional properties of the product.

It has been established that the developed technological scheme for dessert production ensures maximum preservation of bioactive plant compounds while minimizing their thermal degradation during the cooking process.

Key words: *fruit-vegetable-berry dessert; mineral composition; organoleptic characteristics; kiyoma; local plant-based raw materials.*

Авторлар туралы мәліметтер

Азрет Утебаевич Шингисов – техника ғылымдарының докторы, «Азық-түлік өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының профессоры, Шымкент,Қазақстан; e-mail: azret_utebai@mail.ru. ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0726-8232.

Индира Абайханқызы Махатова – а/ш ғылымдарының кандидаты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, «Тоқыма және тамақ инженериясы» Жоғары мектебі, Шымкент, Қазақстан; e-mail: indiram@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-5441-9870.

Эльвира Урисбаевна Майлыбаева – магистр, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, «Тоқыма және тамақ инженериясы» Жоғары мектебі, Шымкент, Қазақстан; e-mail: emu1204@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6322-4496.

Укилим Убайдуллаевна Тастемирова* – phD докторы, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, тоқыма және тамақ инженериясы Жоғары мектебі, Шымкент, Қазақстан; e-mail: ib_tu@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7078-0044.

Айнұр Жандильдақызы Шиналиева – докторант, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, «Тоқыма және тамақ инженериясы» жоғары мектебі, Шымкент, Қазақстан; e-mail: ainur_09_09@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-8656-0302.

Сведения об авторах

Азрет Утебаевич Шингисов – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и безопасность продовольственных продуктов», Высшая школа Текстильной и пищевой инженерии, Шымкент, Казахстан; e-mail: azret_utebai@mail.ru. ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0726-8232.

Индира Абаихановна Махатова – канд. с.-х. наук, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Высшая школа Текстильной и пищевой инженерии, Шымкент, Казахстан; e-mail: indiram@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-5441-9870.

Айнур Жандильдаевна Шиналиева – докторант, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Высшая школа Текстильной и пищевой инженерии, Шымкент, Казахстан; e-mail: ainur_09_09@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-8656-0302.

Эльвира Урисбаевна Майлыбаева – магистр, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Высшая школа Текстильной и пищевой инженерии, Шымкент, Казахстан; e-mail: emu1204@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6322-4496.

Укилим Убайдуллаевна Тастемирова* – phD, М Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, Высшая школа Текстильной и пищевой инженерии, Шымкент, Казахстан; e-mail: ib_tu@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7078-0044.

Information about authors

Azret Shingisov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology and Food Safety, Higher School of Textile and Food Engineering, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: azret_utebai@mail.ru. ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0726-8232.

Indira Makhatova – Candidate of Agricultural Sciences, M. Auezov South Kazakhstan University, Higher School of Textile and Food Engineering, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: indiram@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-5441-9870.

Elvira Mailybayeva – master's degree, M. Auezov South Kazakhstan University, Higher School of Textile and Food Engineering, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: emu1204@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6322-4496.

Ukilim Tastemirova* – PhD doctor, M. Auezov South Kazakhstan University, Higher School of Textile and Food Engineering, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: ib_tu@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7078-0044.

Ainur Shinaliyeva – Doctoral student, M. Auezov South Kazakhstan University, Higher School of Textile and Food Engineering, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: ainur_09_09@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-8656-0302.

Поступила в редакцию 02.08.2025
Поступила после доработки 27.08.2025
Принята к публикации 28.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-45

CC BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 62.09.39: 65.33.29

Л.Б. Умиралиева[1], А.Б. Оспанов[1]*, Э.Т. Исмаилова[2], И.Д. Филатов[3]
[1]ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности»,
050060, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект Гагарина, 238 Г
[2]ТОО «Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии»,
050010, г. Алматы, Медеуский район, улица Богенбай батыра, 105
[3]Международный инженерно-технологический университет,
050060, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 89/21
*e-mail: a-ospanov@.mail.ru

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА БИОПРЕПАРАТОВ ЗАКВАСОК ДЛЯ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОАКТИВНЫХ КУЛЬТУР МИКРООРГАНИЗМОВ

Аннотация: *В статье представлен обзор литературы, посвященный исследованиям по выработке биопрепаратов на основе высокоактивных культур микроорганизмов для производства хлебопекарной продукции. Рассмотрено и дана оценка функции микроорганизмов и способам их производства, процессу ферментации заквасок, роли бактерий и дрожжей в ферментации, осуществлена постбиотическая оценка закваски, изучено влияние термообработки теста на качество хлебобулочного изделия. Исследования подтверждают возможность повышения эффективности и регулирования активности микроорганизмов в полуфабрикатах хлебопекарного производства, что позволит оптимизировать технологический процесс, снизить технологические затраты и повысить качество и безопасность хлебопекарной продукции. А также установлено, что постбиотические компоненты в закваске обеспечивают полезные свойства для здоровья человека, такие как лучшая усвояемость, насыщение, антиоксидантные свойства. Однако, в исследованиях мало изучены свойства, характеризующие стабильность и свойства постбиотических компонентов после процесса выпечки.*

Нами обозначена необходимость проведения исследований на основе высокоактивных культур микроорганизмов для разработки хлебной продукции с постбиотическими свойствами полезными для здоровья населения страны. Следовательно, наши исследования будут направлены на создание закваски с определенным микробиологическим консорциумом и ингредиентами, обладающей способностью повысить питательные вещества и приносить пользу для здоровья человека, а также на разработку эффективного способа промышленного культивирования микроорганизмов для производства хлебопекарных полуфабрикатов, жидких дрожжей и заквасок.

***Ключевые слова**: молочнокислые бактерии, дрожжи, ферментация, закваски, микробиологическая порча, хлебопечение.*

Актуальность исследования. В условиях рыночных преобразований и интенсификации хлебопекарного производства на предприятиях малой и средней мощности в Казахстане широкое распространение получили ускоренные технологии изготовления хлеба и, в последствие чего, заметно снизился потребительский спрос населения, из-за быстрой потери свежести, слабого вкуса и аромата, хрупкости крошки и др. Следовательно, из-за отсутствия отечественного промышленного производства высокоэффективных заквасок, адаптированных к специфике местного сырья. В результате производители хлеба вынуждены использовать химические улучшители или импортные закваски, нередко обладающие недостаточной технологической и микробиологической эффективностью и не соответствующие требованиям безопасности либо органолептическим ожиданиям потребителей.

Кроме того, хлебобулочные изделия подвержены физической, химической и микробиологической порче. В то время как физическая и химическая порча ограничивает срок хранения продукции с низкой или средней влажностью, а микробиологическая порча бактериями, дрожжами и плесенью, особенно актуальна для изделий с высокой влажностью [1,2]. А между тем, микробиологическая порча муки и, соответственно, хлебобулочных изделий является «глобальной проблемой», признаваемой Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) [3].

Одним из эффективных способов предупреждения микробиологической порчи, повышения качества и безопасности хлебобулочных изделий является использование биопрепаратов на основе молочнокислых бактерий и дрожжей с широким спектром антагонистических свойств, направленных против различных видов возбудителей болезней хлеба. Использование микроорганизмов способствует как повышению микробиологической стабильности и пищевой безопасности хлеба, так и улучшению его текстурных, вкусовых и ароматических характеристик.

В связи с чем, поиски по разработке отечественных биопрепаратов, обладающих комплексом технологических и антагонистических свойств, представляет собой актуальную научную задачу. Она направлена на формирование нового поколения хлебобулочных изделий – устойчивых к порче, высококачественных, безопасных и соответствующих современным требованиям потребителя.

Данные исследования осуществляются в рамках научного проекта программно-целевого финансирования МСХ РК на 2024-2026 годы по теме «Разработка биопрепаратов для различных видов хлеба на основе отечественных высокоактивных культур микроорганизмов, обеспечивающих получение качественной и безопасной хлебопекарной продукции».

Функция и способы приготовления заквасок. Производство хлеба представляет собой совокупность взаимосвязанных технологических операций, формирующих оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, являющихся основой заквасочной микрофлоры [4-6].

Каждая группа микроорганизмов выполняет специфическую функцию в процессе ферментации, находясь во взаимной симбиотической связи и продуцируя ферменты и метаболиты, способствующие биохимическому преобразованию компонентов теста:

– *молочнокислые бактерии (*представители родов *Lactobacillales, Leuconostoc, Pediococcus)* осуществляют превращение сахаров в молочную кислоту, тем самым понижая pH и создавая кислую среду, неблагоприятную для развития патогенной микрофлоры. Кроме того, они продуцируют ферменты – протеазы и липазы – способствующие расщеплению белков и липидов, что положительно влияет на вкусовые характеристики хлеба;

– *дрожжи (*в основном рода *Saccharomycetales, Candida)* участвуют в спиртовом брожении, в ходе которого сахара преобразуются в этанол и углекислый газ, улучшая текстуру, вкус и аромат готового продукта.

В процессе ферментации и молочнокислые бактерии и дрожжи синтезируют фермент фитазу, расщепляющий фитиновую кислоту. Это способствует снижению кислотности среды до pH около 5,5, тем самым улучшая биодоступность минеральных элементов, таких как калий, фосфор, кальций, марганец, магний и др. [7-9].

В хлебопекарной практике в зависимости от требований к качеству и биобезопасности продукции применяются различные виды заквасок:

– *концентрированная молочнокислая закваска (КМКЗ)* – представляет собой мучной полуфабрикат, получаемый в жидкой или сухой форме с использованием чистых культур *Lactobacillus plantarum, L.brevis, L.fermenti, L.casei.* Производство КМКЗ включает два этапа: культивирование бактерий в солодовом сусле и осахаренной заварке, затем ферментация смеси муки и воды при температуре 32-38 °С до достижения кислотности 14-18 ед. [10];

– *комплексная закваска* - включает комбинации штаммов дрожжей и бактерий *(L.casei C1, L.brevis 78, L.fermenti 34, S.cerevisiae 69),* отобранных в оптимальных соотношениях. Применяется для повышения устойчивости хлеба к заражению картофельной палочкой и плесневыми грибами [11];

– *витаминная закваска* – содержит каротинсинтезирующие дрожжи *Bullera armenioca Сб – 206* и дрожжи *Saccharomyces cerevisiae – Фр – 3*, *Acidophilus – 146. И*спользуется для улучшения качества изделий из муки с пониженной клейковиной [10];

– *ацидофильная закваска* – на основе бактерий *L. acidophilus 146* и дрожжей *S. cerevisiae P-17.* Обеспечивает насыщенный вкус, выраженный аромат, подавляет развитие картофельной палочки и улучшает характеристики хлеба из высококлейковинной муки [12];

– *пропионовокислая закваска* – включает культуры *Propionibacterium freundenreichii spp. shermanii ВКМ–103,* обладающие выраженными антимикробными свойствами. Эффективна против картофельной палочки и плесневых грибов [10, 12, 13].

Ферментация теста. Ключевую роль в разрыхлении теста в хлебопекарной промышленности играют дрожжи вида *Saccharomyces cerevisiae*, характеризующиеся устойчивостью при хранении и высокой бродильной активностью. Для создания оптимальной кислотности питательной среды и улучшения условий размножения дрожжевых культур часто используют молочнокислые бактерии *Thermobacterium cereale*.

Процесс ферментации теста представляет собой многостадийную биохимическую трансформацию, включающую следующие этапы:

1. *Инициация* – внесение заквасочной культуры в муку. На этом этапе микроорганизмы начинают утилизировать доступные углеводы и другие питательные вещества;

2. *Адаптация и размножение* – микроорганизмы адаптируются к новой среде, активно размножаются, продуцируя ферменты, способствующие дальнейшему расщеплению субстрата;

3. *Основной этап ферментации* – молочнокислые бактерии синтезируют молочную кислоту, дрожжи осуществляют спиртовое брожение с образованием этанола и углекислого газа. В результате понижается pH среды, формируются специфические вкусоароматические характеристики теста;

4. *Стабилизация* – субстрат достигает равновесного состояния, формируется окончательная структура и текстура.

Использование чистых культур молочнокислых бактерий позволяет направленно регулировать органолептические свойства хлебобулочных изделий за счёт подбора конкретных видов и штаммов. Преимущества такого подхода включают: получение продукции с широким спектром вкусовых оттенков; высокое качество готовых изделий; активное кислотообразование и синтез вторичных метаболитов; ускоренное приготовление высокоэффективных заквасок; повышение выхода продукции за счёт экономии муки; технологическая управляемость процесса брожения.

Существуют различные методы приготовления хлебных заквасок:

1. *Спонтанное брожение смеси муки и воды*. Этот способ базируется на естественной микрофлоре, но имеет ряд недостатков: длительность процесса (до 20 часов в зависимости от числа фаз), нестабильность состава и качества закваски, высокая влажность (15-50%),

создающая условия для развития нежелательной микрофлоры – малоспецифичных грибов, бактерий и актиномицетов.

2. *Освежение ранее приготовленной закваски*. Метод предполагает регулярное обновление спелой закваски путём добавления дрожжей, воды и муки. Он отличается стабильностью результатов и широко применяется на хлебозаводах Казахстана. Технология включает смешивание зрелой закваски с дрожжами и частью воды, затем внесение муки и оставшейся воды температурой 25-27 °С, с последующим замесом до получения однородной массы.

3. *Использование стартовых культур (стартеров)* – наиболее технологичный и управляемый способ, основанный на применении отобранных чистых штаммов молочнокислых бактерий (возможно в комбинации с дрожжами). Стартеры могут выпускаться в сухом или жидком виде. Этот метод позволяет готовить закваску за один этап продолжительностью 18-24 часа, без промежуточных фаз разведения и поддержания культуры, обеспечивая при этом стабильность процессов ферментации. Однако его внедрение сопряжено с более высокими затратами. На практике различают жидкие, сухие (например, лактобактерин) и комбинированные заквасочные стартеры (лактобактерин в сочетании с сухими дрожжами).

Исследования по применению заквасок в хлебопечении. В хлебопекарной отрасли Казахстана, как и других стран СНГ, широко применяются концентрированные кисломолочные закваски, как на основе чистых культур молочнокислых бактерий, так и в сочетании с дрожжами. Используются густые и жидкие формы заквасок, а также жидкие дрожжевые культуры, что обеспечивает гибкость в технологических решениях.

Современные отечественные и зарубежные исследования подтверждают преимущества хлеба, приготовленного на закваске, по сравнению с традиционным дрожжевым хлебом. Согласно данным *Rehman et al.* (2006), *Gobbetti et al.* (2005), уникальность заквасок определяется устойчивым симбиотическим взаимодействием между дрожжами и молочнокислыми бактериями. В состав заквасок может входить более 50 видов молочнокислых бактерий и свыше 25 видов дрожжей [14, 15].

Формирование характерного аромата хлеба во многом обусловлено метаболической активностью заквасочных бактерий, продуцирующих широкий спектр летучих и нелетучих соединений: органические кислоты, спирты, альдегиды, кетоны, эфиры и серосодержащие соединения [16]. Снижение уровня фитиновой кислоты в тесте способствует улучшению биодоступности минеральных веществ (Fe, Ca, Mg и др.) и, как следствие, повышает пищевую ценность хлеба. Заквасочные культуры также продуцируют экзополисахариды и способствуют гидролизу проламиновой фракции белков, что особенно важно для потребителей, страдающих целиакией [17].

Установлено, что применение заквасок позволяет снизить содержание фитиновой кислоты на 62%, тогда как при использовании дрожжей эта величина составляет 38%. В отрубях этот показатель достигает 90% [18]. Экспериментальные исследования на животных также демонстрируют улучшение усвояемости железа при потреблении хлеба, приготовленного с применением заквасок [19].

В процессе ферментации молочнокислые бактерии синтезируют гомо- и гетерополисахариды как регулярного, так и нерегулярного строения. Производство глюканов и фруктанов осуществляется из сахарозы при участии фермента левансахаразы, относящегося к классу гликозилтрансфераз. Эти полисахариды способствуют улучшению реологических свойств теста, увеличению удельного объема хлеба, снижению жесткости мякиша и замедлению процессов черствения [20-22]. *Poutanen et al.* (2009) указывает, что присутствие полисахаридов в тесте особенно эффективно при длительном брожении [23].

Современные исследования акцентируют внимание на потенциальных оздоровительных эффектах заквасок, в том числе за счёт содержания постбиотических компонентов – продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, оказывающих положительное влияние на организм человека. К постбиотикам относят как нежизнеспособные клетки микроорганизмов, так и биологически активные метаболиты: короткоцепочечные жирные кислоты, бактериоцины, биосурфактанты, аминокислоты, пептиды, флавоноиды, экзополисахариды и др. Их образование определяется температурным режимом, pH, временем ферментации и микробным составом закваски [24].

С микробиологической точки зрения закваска представляет собой устойчивую экосистему с низким pH, высокой концентрацией углеводов, ограниченным содержанием кислорода и доминированием молочнокислых бактерий. Концентрация дрожжевых клеток при этом на 1-2 порядка ниже [25-27]. Основными проявлениями метаболической активности микробиоты являются: подкисление среды, формирование вкуса и текстуры хлеба, а также газообразование.

Согласно *Păcularu-Burada et al.* (2020), ферментированные продукты и функциональные ингредиенты – пробиотики, пребиотики, синбиотики – могут использоваться в составе лечебно-профилактического питания. При этом пробиотические продукты, особенно после термической обработки (пастеризации, выпечки), могут содержать преимущественно нежизнеспособные клетки. Тем не менее, их компоненты (например, молочная кислота, короткоцепочные жирные кислоты, биоактивные пептиды) сохраняют функциональную активность и способны благоприятно влиять на здоровье потребителя.

Одним из преимуществ постбиотиков является их стабильность в широком диапазоне pH и температур, а также отсутствие взаимодействия с другими соединениями пищевой среды. Это обеспечивает высокую стабильность при хранении, минимизирует риск микробного загрязнения и сохраняет сенсорные характеристики готовой продукции [29].

Современные зарубежные исследования активно направлены на выделение и характеристику новых штаммов микробов, способных к биосинтезу активных соединений (экзополисахариды, антимикробные вещества, биоактивные пептиды), применение которых в составе заквасок может значительно расширить их функциональный потенциал [30].

Согласно классификации, предложенной *Omar P. et al.* [30], различают четыре типа заквасок, определяемые методами инокуляции, параметрами ферментации и желаемыми сенсорными и питательными характеристиками готовых хлебобулочных изделий (рис. 1). Основными свойствами, регулируемыми технологией приготовления заквасок, являются вкус, текстура, аромат, стабильность хранения и пищевая ценность.

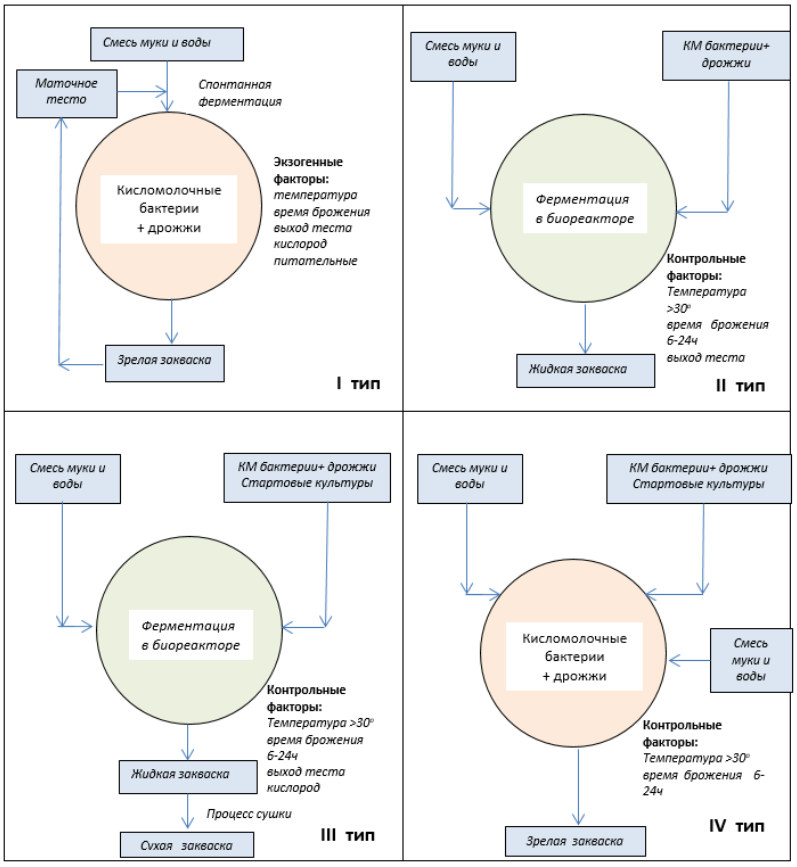


Рисунок 1 – Типы процессов приготовления закваски

Тип I – представляет собой традиционную форму закваски, ферментация которой осуществляется при температуре 20-24 °C с повторным освежением – добавлением муки и

воды – каждые 6-24 часа. В качестве инокулята используется часть закваски из предыдущей партии (маточное тесто), в которой происходит спонтанное или контролируемое развитие естественных дрожжей и молочнокислых бактерий, либо лабораторно выделенных штаммов. Такая закваска может поддерживаться и использоваться в течение длительного времени – от нескольких месяцев до нескольких лет – при условии стабильного режима замеса и ферментации. Микробная экосистема закваски со временем стабилизируется и адаптируется к условиям среды, что обеспечивает стабильное качество продукта [30].

Недостатком заквасок типа I является их ограниченное применение в промышленности, что обусловлено сложностью масштабирования и необходимостью постоянного контроля условий ферментации. Кроме того, данный тип закваски требует значительного времени для поддержания микробиологической активности и требует высокой квалификации персонала [31].

Тип II – закваски характеризуется контролируемой ферментацией с использованием кислотоустойчивых лабораторных штаммов молочнокислых бактерий. Процесс длится 15-20 часов и проводится в жидкой среде внутри ферментаторов или резервуаров, что позволяет масштабировать его до промышленного уровня [32]. По данным *Preedy u Watson* (2019), для приготовления таких заквасок применяются штаммы *Levilactobacillus brevis, Limosilactobacillus fermentum, Lactiplantibacillus plantarum, Limosilactobacillus reuteri u Fructilactobacillus sanfranciscensis*, как в сочетании с дрожжами, чаще всего *Saccharomyces cerevisiae*, так и без них [33].

Отбор штаммов производится на основе их способности быстро подкислять тесто, обеспечивать стабильное брожение и генерировать специфические ароматические соединения. Эти характеристики способствуют широкому распространению сухих заквасок и экстрактов на их основе в хлебопекарной промышленности, особенно в виде ароматизирующих добавок.

Тип III технологически близок к типу II, однако включает стадию пастеризации и последующую стабилизацию закваски. В состав таких заквасок могут входить как *L.brevis,* так и факультативно гетероферментативные бактерии, например *Pediococcus pentosaceus u L.plantarum* [34]. Основными преимуществами этого типа являются длительный срок хранения, уменьшенный объём продукта и упрощённое обращение при транспортировке и хранении [35].

Тип IV представляет собой систему, начинающуюся с лабораторно подготовленной закваски и проходящую через три фазы смены микробного состава. В процессе ферментации происходит постепенное замещение исходных культур микроорганизмами, более устойчивыми к условиям среды. Это может привести к вытеснению чувствительных лабораторных штаммов в пользу аборигенной микробиоты, более адаптированной к экосистеме закваски [33, 35]. Подобный тип требует строгого контроля микробиологического состава, поскольку может не сохранять целевые свойства закваски на протяжении длительного времени.

В целом, ферментации типов II и III позволяют стандартизировать и упростить производство хлеба, адаптируя процесс под нужды крупной промышленности. Однако, как отмечают исследователи, эти типы заквасок в полной мере не обеспечивают выраженных органолептических характеристик, присущих традиционным заквaскам типа I [31].

В последние годы в европейских пекарнях всё шире внедряется технология жидкой ферментации, сочетающая использование лабораторных штаммов и дрожжей. Этот подход обеспечивает гибкость, высокую управляемость процесса и отвечает требованиям современной хлебопекарной промышленности [31].

Роль молочнокислых бактерий и дрожжей в ферментации заквасок. Микробиологическая ферментация заквасок включает метаболическую активность как молочнокислых бактерий (МКБ), так и дрожжей. В ходе ферментации синтезируются органические кислоты, спирты, альдегиды, кетоны и сложные эфиры, формируя летучие соединения, ответственные за аромат и вкус как самой закваски, так и готового хлебобулочного изделия [39].

Молочнокислые бактерии продуцируют молочную и уксусную кислоты, способствуя снижению pH теста, а также участвуют в накоплении аминокислот, в частности глутамата, усиливающего вкус. Метаболизм МКБ приводит к образованию 2-ацетил-1-пирролина –

ключевого ароматического соединения, формирующего характерный запах хлебной корки. Кроме того, накапливаются пептиды, включая глутатионы и глутамилдипептиды, влияющие на вкусовой профиль [33, 36]. Аминокислоты, такие как фенилаланин (сладкий), изолейцин (кислый), глицин, серин и аланин, превращаются в альдегиды и кетоны, усиливая вкусовые характеристики изделия.

С точки зрения метаболизма, гомо- и гетероферментативные молочнокислые бактерии различаются по регенерации кофакторов (НАД – никотинамидадениндинуклеотид или НАДФ – никотинамидадениндинуклеотид-фосфат), а также по использованию акцепторов электронов, таких как кислород и фруктоза. У гетероферментативных видов это сопровождается повышенным образованием уксусной кислоты, что усиливает консервирующий эффект и вкусовую насыщенность теста.

Основными углеводами в пшеничной муке являются мальтоза, сахароза, глюкоза, фруктоза и трисахариды (мальтотриоза, раффиноза). В процессе ферментации содержание глюкозы возрастает за счёт распада более сложных сахаров. При этом дрожжи не метаболизируют мальтозу, тогда как МКБ эффективно её используют [37]. Гомоферментативные бактерии перерабатывают глюкозу через гликолиз с образованием молочной кислоты, тогда как гетероферментативные штаммы синтезируют также CO_2, этанол и уксусную кислоту [33].

Дрожжи, в частности *Saccharomyces cerevisiae*, играют ключевую роль в процессе разрыхления теста за счёт образования CO_2. Эти организмы характеризуются высокой толерантностью к стрессовым факторам, что делает их незаменимыми в промышленном хлебопечении [38]. Дрожжи также вовлечены в развитие вкуса и аромата хлеба за счёт синтеза высших спиртов и эфиров в результате аминокислотного метаболизма.

Стабильность процесса ферментации закваски зависит от взаимодействия определенных видов бактерий и дрожжей [39].

В настоящее время пекарские дрожжи продаются в виде различных видов продуктов с улучшенным сроком хранения, осмотолерантными свойствами, сохранением активности при низких температурах и приданием аромата. На изменчивость дрожжей, среди прочего, влияют гидратация теста, тип хлопьев и температура разрыхлителя [37, 40].

Углеводы, присутствующие в муке, ферментируются посредством гликолиза с образованием CO_2 и этанола. Этанол также влияет на свойства теста, укрепляя структуру клейковины, но значительная его часть испаряется во время выпечки [41]. Глицерин и сукцинат являются осмопротекторами, снижающими pH и влияющими на реологию теста за счет улучшения газоудержания и образования клейковины [42].

Ферментация углеводов дрожжами сопровождается образованием этанола и CO_2. Хотя этанол частично испаряется при выпечке, он способствует стабилизации клейковинной структуры. Кроме того, дрожжи вырабатывают глицерин и сукцинат — осмопротекторы, улучшающие газоудержание и структуру теста [42, 43]. По данным *De Vuyst* (2005) дрожжи продуцируют низкие уровни органических кислот, таких как уксусная и янтарная кислоты, которые способствуют незначительному подкислению дрожжевого теста и влияют на конечный вкус [44].

Важным аспектом является антиоксидантная активность дрожжей, которая обусловлена высвобождением фенольных соединений из мучных компонентов. Это происходит благодаря дефосфорилированию фитатов ферментом фитаза, а также разрушению клеточной стенки зёрен, способствующему высвобождению связанных полифенолов [39, 45, 46]. Дрожжи также обладают протеазной активностью, высвобождая низкомолекулярные пептиды и аминокислоты, что способствует пищеварению и формированию вкуса [47].

Постбиотические компоненты заквасок. Ферментация сопровождается образованием широкого спектра постбиотических соединений – как внутри-, так и внеклеточных – с потенциально положительным влиянием на здоровье потребителя [48, 49]. Эти метаболиты включают бактериоцины, органические кислоты, ингибирующие пептиды, а также короткоцепочечные жирные кислоты (SCFA), такие как ацетат, пропионат и бутират, обладающие иммуномодулирующим и противомикробным действием [30, 50].

Метаболики активируются при ферментации образуя биоактивные вещества, которые подавляют рост патогенных бактерий. Активность молочнокислых бактерий и продукция биологически активных веществ зависят от условий ферментации, особенно от pH,

температуры и продолжительности. Например, как установлено *Corsetti et al* (2013) поддержание pH около 4,0 способствует накоплению изомеров молочной кислоты и этанола, что повышает метаболическую активность и стимулирует выработку постбиотиков. Более низкие значения pH способствуют синтезу летучих ароматических соединений [30].

Интерес представляет способность отдельных штаммов, таких как *Levilactobacillus hammesii*, преобразовывать линолевую кислоту в моногидроксиоктадеценовую кислоту, которая обладает выраженной противогрибковой активностью, предотвращая порчу хлеба без ухудшения его органолептических свойств [50-52].

Ученые *Zhang et a*l (2018), *Duc Thang et al* (2019) утверждают, что *Levilactobacillus hammesii* преобразует линолевую кислоту в моногидроксиоктадеценовую кислоту, которая обладает выраженной противогрибковой активностью, предотвращая порчу хлеба без ухудшения его органолептических свойств [50-52].

Влияние термической обработки на жизнеспособность микроорганизмов и стабильность их метаболитов

Применение живых пробиотических микроорганизмов в хлебопекарной продукции ограничено вследствие агрессивного температурного режима при выпечке, который сопровождается обезвоживанием и денатурацией белковых структур. Эти факторы приводят к значительному снижению жизнеспособности клеток, что делает включение пробиотиков в готовый хлеб маловероятным [51-53].

Кинетика тепловой обработки хлеба играет решающую роль в формировании структуры корки и мякиша, а также в развитии органолептических характеристик продукта. Минимальное термическое воздействие, достаточное для технологической готовности, определяется моментом, когда не менее 98% крахмала теста подвергается полной желатинизации. В связи с этим, сокращение времени выпечки за счёт повышения температуры или уменьшения размеров хлебных заготовок может привести к повышенной остаточной жизнеспособности микроорганизмов после термической обработки [54].

Исследование *Varsha et al.* (2014) показало, что термическое воздействие оказывает влияние на молекулярную массу экзополисахаридов, синтезируемых *Streptococcus thermophilus.* Продолжительная обработка в интервале температур 160-220 °C приводит к структурным изменениям этих соединений, что может влиять на их биологическую активность и технологические свойства. Однако требуется дополнительное изучение функциональных свойств таких термостабильных полисахаридов в условиях хлебопекарного производства [55].

В то же время ряд биоактивных соединений, образующихся в процессе ферментации заквасок, проявляют высокую термостабильность. Так, согласно данным *Scazzina et al.* (2009), противогрибковые метаболиты, формирующиеся при ферментации, сохраняют активность даже при температурах стерилизации, что делает их перспективными для применения в хлебопекарной промышленности [56]. Похожие результаты были получены *Najjar et al.* (2008), подтвердившими, что многие антибактериальные соединения, включая бактериоцины, устойчивы к высокотемпературной обработке и способны выполнять функциональные роли в готовых пищевых продуктах. Однако авторы подчёркивают необходимость проведения дополнительных исследований при температурных режимах до 220 °C для окончательной оценки стабильности их активности [57].

Относительно других биологических молекул, таких как биосурфактанты, поверхностные белки клеток, компоненты бесклеточных супернатантов и короткоцепочечные жирные кислоты (SCFA), в настоящее время отсутствует достаточное количество данных, описывающих их термостабильность и функциональность после выпечки. Их устойчивость к термической обработке остаётся открытым вопросом.

Таким образом, существует необходимость в дальнейшем изучении устойчивости и функциональности биологически активных соединений, продуцируемых микроорганизмами, после термической обработки. Перспективным направлением являются исследования с использованием in vitro и in vivo моделей, которые позволят оценить потенциал сохранения метаболической активности в готовой продукции и влияние этих соединений на качество и безопасность хлебобулочных изделий.

Влияние хлеба на здоровье человека

Многочисленные исследования подтверждают, что состав и способ приготовления хлеба оказывают значительное влияние на физиологические показатели организма человека. В частности, использование заквасок на основе молочнокислых бактерий вместо традиционного дрожжевого сбраживания с *Saccharomyces cerevisiae* позволяет значительно улучшить метаболический ответ на потребление хлеба.

Так, согласно результатам ряда клинических исследований, хлеб, приготовленный на закваске, вызывает более низкую гликемическую реакцию по сравнению с белым пшеничным хлебом, сброженным *S.cerevisiae*. Через 120 минут после потребления белого хлеба уровень глюкозы в крови достигал 125 ммоль/л, в то время как при употреблении ржаного хлеба на закваске – всего 90 ммоль/л [58, 59]. Работа *MacKay et al.* (2014) показала, что закваски повышают содержание резистентного крахмала и снижают постпрандиальную гликемию у здоровых молодых людей [59].

Подобные выводы были сделаны и *Lappi et al*. (2019), исследовавшими влияние ферментированной ржаной закваски. Установлено, что такой хлеб характеризуется повышенным содержанием пищевых волокон, фенольных кислот и более низким инсулиновым ответом после еды. Также отмечены изменения в аминокислотном профиле плазмы крови, включая снижение уровня пиколиновой кислоты, участвующей в воспалительных реакциях через метаболизм триптофана [58].

Инсулиновый ответ оказался сниженным не только у здоровых испытуемых, но и у мужчин с избыточной массой тела, а также у пациентов с инсулинорезистентностью и нарушением толерантности к глюкозе [60-62]. Исследования *Zamaratskaia et al.* (2017) и *Rizzello et al.* (2019) подтвердили, что длительная ферментация закваски (до 19,5 часов) обеспечивает наименьшую гликемическую и инсулиновую нагрузку, что может быть использовано для профилактики и лечения метаболических нарушений, включая сахарный диабет 2 типа [60, 61].

Положительное влияние хлеба на закваске также прослеживается в усилении чувства насыщения после приёма пищи. Экспериментальные данные свидетельствуют о высокой степени сытости после потребления ржаного заквасочного хлеба, что может быть связано с ферментативным снижением молекулярной массы пищевых волокон – арабиноксиланов и β-глюканов, а также с образованием органических кислот в процессе брожения [62-64].

Дополнительно, существуют клинические предпосылки к применению хлеба на заквасках при определённых гастроэнтерологических состояниях. Установлено, что ржаной хлеб с пониженным содержанием FODMAP-компонентов (Ферментируемые олиго-, ди- и моносахариды и полиолы (*Fermentable Oligo-, Di- and Monosaccharides and Polyols*)) способствует снижению выраженности симптомов при синдроме раздражённого кишечника (СРК). Такой хлеб уменьшает избыточную ферментацию в толстой кишке, снижает метеоризм, абдоминальную боль и дискомфорт [63-65].

Выводы. Анализ современных научных данных подчёркивает актуальность разработки и применения заквасок в хлебопекарной промышленности не только с технологической, но и с нутрицевтической точки зрения. Активное участие заквасок в стабилизации ферментных систем, регуляции метаболизма углеводов, формировании органических кислот и постбиотических метаболитов способствует улучшению функциональных свойств хлебобулочных изделий.

Используя приемы регулирования активности микроорганизмов возможно повышение эффективности их действия в полуфабрикатах хлебопекарного производства, что оптимизирует технологический процесс, снижает технологические затраты, а также повышает качество и безопасность хлебопекарной продукции.

Постбиотические компоненты в закваске обеспечивают потенциальные полезные свойства для здоровья человека, такие как лучшая усвояемость, насыщение, антиоксидантные свойства и другие.

Особое значение приобретает изучение постбиотических компонентов, сохраняющихся после термической обработки, – органических кислот, фенольных соединений, короткоцепочечных жирных кислот и пребиотических волокон. Их положительное влияние на здоровье человека, включая антиоксидантную, противовоспалительную активность и улучшение обмена веществ, делает необходимым проведение углублённых in vitro и in vivo исследований по их стабильности и биодоступности после выпечки.

Следовательно, необходимо проводить исследования для разработки хлеба с постбиотической пользой для здоровья населения страны на основе высокоактивных культур микроорганизмов. Необходимы дополнительные исследования с определенным микробиологическим консорциумом и ингредиентами для создания закваски, способной распределять конкретные питательные вещества и повышать питательную ценность для организма потребителя.

Таким образом, необходимо разработать:

– эффективные заквасочные биопрепараты на основе микробных консорциумов с постбиотической активностью;

– технологии промышленного культивирования этих микроорганизмов для производства жидких дрожжей, полуфабрикатов и заквасок;

– аппаратурно-технологические схемы их масштабного внедрения в хлебопекарное производство.

Эти меры позволят обеспечить не только высокое качество и безопасность продукции, но и сформировать хлебобулочные изделия с потенциальной функциональной и лечебно-профилактической ценностью для здоровья населения.

Список литературы

1. Афанасьева О.В. Микробиология хлебопекарного производства в России: НИИ хлебопекарной промышленности. – СПбФ ГосНИИХП, 2003. – 183 с.
2. Полякова С.П. Повышение устойчивости кондитерских и хлебобулочных изделий к микробиологической порче / С.П. Полякова, О.А. Сидорова // Пищевая промышленность. – 2012. – № 5. – С.16-18.
3. Материалы Глобального Форума ФАО / ВОЗ по вопросам регулирования безопасности пищевых продуктов. Повышение эффективности и открытости в системах безопасности пищевых продуктов. Обмен опытом. Марокко, 28-30 января 2002 г. http://www.fao.org/docrep/MEETING/004/Y3680R/Y3680R09.htm.
4. Гришин О.С. Влияние различных способов приготовления теста на качество хлебобулочных изделий / Пищевая промышленность. – 2017. – 352 с.
5. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства: Учебник 9-е изд.; перераб. и доп. / Под общ. ред. Л.И. Пучковой. – СПб. Профессия, – 2002. – 416 с.
6. Афанасьева О.В. Микробиология хлебопекарного производства. С.-Петерб. фил. Гос. НИИ хлебопекар. промышленности (СПбФ ГосНИИХП). – СПб.: Береста, 2003. – 220 с.
7. Сборник технологических инструкций для производства хлеба и хлебобулочных изделий: сборник. – М.: Прейскурантиздат, 1989. – 494 с.
8. Сборник современных технологий хлебобулочных изделий. – Под общ. ред. чл.-корр. РАСХН, д.э.н., проф. А.П. Косована. – М.: РАСХН, 2008. – 268 с.
9. Чижова К.Н. Технохимический контроль хлебопекарного производства / К.Н. Чижова, Т.Н. Шкваркина, Н.В. Запенина, И.Н. Маслов, Ф.И. Заглодина. – Изд. 5-ое. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 280 с.
10. Пучкова Л.И. Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий. Часть I / Л.И. Пучкова, Р.Д. Поландова, И.В. Матвеева . – СПб: ГИОРД, 2005. – 559 с.
11. Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов. – М.: 1992. – 182 с.
12. Матвеева И.В. Биотехнологические основы приготовления хлеба: учеб. пособие для вузов / И.В. Матвеева, И.Г. Белявская. – М: ДеЛи принт, 2001.
13. Красникова Л.В. Микробиология хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств: Учеб. пособие / Л.В. Красникова, И.Е. Кострова. – СПб.: СПбГУН и ПТ, 2001. – 81 с.
14. Rehman S. Flavour in sourdough breads: a review / S. Rehman, A. Paterson, J.R. Piggott // Trends in Food Science & Technology. – 2006. – № 17. – P. 557-566.
15. Biochemistry and physiology of sourdough lactic acid bacteria / M. Gobbetti et alnds in Food Science & Technology. – 2005. – 16. – P. 57-69.
16. Prolonged fermentation of whole wheat sourdough reduces phytate level and increases soluble magnesium / H. Lopez et al // J. of Agriculture and Food Chemistry. – 2001. – 49. – P. 2657-2662.

17. Chaoui A. Making bread with sourdough improves iron bioavailability from reconstituted fortified wheat flour in mice / A. Chaoui, M. Faid, R. Belahsen // J. of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2006. – 20. – P. 217-220.
18. Glucan and Fructan Production by Sourdough Weissella cibaria and Lactobacillus plantarum / R. Di Cagno et al // J. of Agricultural and Food Chemistry. – 2006. – № 54(26). – P. 9873-9881.
19. Tieking M. Exopolysaccharides from cereal associated lactobacilli / M. Tieking, M.G. Ganzle // Trends Food Sci. Technol. – 2005. – № 16. – P. 79-84.
20. Bread making using kefir grains as baker's yeast / S. Plessas et al // Food Chemistry. – 2005. – 93. – P. 585-589.
21. Fermentation efficiency of thermally dried immobilized kefir on casein as starter culture / D. Dimitrellou et al // Process Biochemistry. – 2008. – 43. – P. 1323-1329.
22. Role of lactic acid bacteria and yeasts in sourdough fermentation during breadmaking: Evaluation of postbiotic-like components and health benefits / P. Omar et al // Microbiol. Sec. Food Microbiology. – 2022. – V. 13. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.969460.
23. Poutanen K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective / K. Poutanen, L. Flander, K. Katina // Food Microbiol. – 2009. – P. 693-699. https://doi.org/10.1016/J.FM.2009.07.011.
24. Sourdough fermented breads are more digestible than Those started with Baker's yeast alone: an in vivo challenge dissecting distinct gastrointestinal responses / C.G. Rizzello et al // Nutrients. – 2019. – 11. – P. 2954. https://doi.org/10.3390/NU11122954.
25. Microbial ecology of sourdough fermentations / L. De Vuyst et al // Food Microbiol. – 2014. – 37. – P. 11-29. https://doi.org/10.1016/J.FM.2013.06.002.
26. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics / S. Salminen et al // Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. – 2021. – 18. – P. 649-667. https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6.
27. Postbiotics-parabiotics: the new horizons in microbial biotherapy and functional foods / B.H. Nataraj et al // Microb. Cell Factories. – 2020. – 19. – P. 1-22. https://doi.org/10.1186/S12934-020-01426-W/TABLES/2.
28. Selection of wild lactic acid bacteria strains as promoters of postbiotics in gluten-free sourdoughs / B. Păcularu-Burada et al // Microorganisms. – 2002. – 8. – P. 643. https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS8050643.
29. Liquid and firm sourdough fermentation: microbial robustness and interactions during consecutive backsloppings / V. Galli et al // M. LWT. – 2019. – № 105. – P. 9-15. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.02.004.
30. Corsetti A. Technology of sourdough fermentation and sourdough applications / A. Corsetti // Handbook on Sourdough Biotechnology. – 2013. – P. 85-103. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5425-0_4.
31. De Vuyst L. Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation / L. De Vuyst, S. Van Kerrebroeck, F. Leroy // Adv. Appl. Microbiol. – 2017. – № 100. – P. 49-160. https://doi.org/10.1016/BS.AAMBS.2017.02.003.
32. Sourdough Bread / K. Papadimitriou et al // Innovations in Traditional Foods. – 2019. – P. 127-158. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814887-7.00006-X.
33. Preedy V.R. Flour and breads and their fortification in health and disease prevention / V.R. Preedy, R.R. Watson // Academic Press. – 2019. https://doi.org/10.1016/C2017-0-01593-8.
34. Sensory and physicochemical characterization of sourdough bread prepared with a coconut water kefir starter / M. Limbad et al // Foods. – 2020. – № 9. – 1165 p. https://doi.org/10.3390/FOODS9091165.
35. Chavan R.S. Sourdough technology – a traditional way for wholesome foods: a review / R.S. Chavan, S.R. Chavan // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. – 2011. – № 10. – P. 169-182. https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2011.00148.X.
36. Yeast biodiversity in fermented Doughs and raw cereal matrices and the study of technological traits of selected strains isolated in Spain / R. Chiva et al // Microorganisms. – 2021. – P. 9-47. https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS9010047.

37. Characterization and selection of functional yeast strains during sourdough fermentation of different cereal wholegrain flours / M. Palla et al // Sci. Rep. – 2020. – № 10. – P. 12856-12815. https://doi.org/10.1038/s41598-020-69774-6.
38. Fungal species diversity in French bread sourdoughs made of organic wheat flour / C. Urien et al // Front. Microbiol. – 2019 – № 10. – P. 201. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00201.
39. Contribution of the tricarboxylic acid (TCA) cycle and the glyoxylate shunt in Saccharomyces cerevisiae to succinic acid production during dough fermentation / M.N. Rezaei et al // Int. J. Food Microbiol. – 2015. – № 204. – P. 24-32. https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2015.03.004.
40. De Vuyst L. Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients / L. De Vuyst, A. Comasio, S.V. Kerrebroeck // Crit. Rev. Food Sci. – 2021. – P. 1-33. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1976100.
41. Pico J. Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: a review / J. Pico, J. Bernal, M. Gómez // Food Res. Int. – 2015. – № 75. – P. 200-215. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2015.05.051.
42. Mapping of Saccharomyces cerevisiae metabolites in fermenting wheat straight-dough reveals succinic acid as pH-determining factor / V.B. Jayaram et al // Food Chem. – 2013. – № 136. – P. 301-308. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2012.08.039.
43. Wang T. Improving bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in cereal grains through processing technologies: a concise review / T. Wang, F. He, G. Chen // J. Funct. Foods. – 2014. – 7. – P. 101-111. https://doi.org/10.1016/J.JFF.2014.01.033.
44. De Vuyst L. The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions / L. De Vuyst, and P. Neysens // Trends Food Sci. Technol. – 2005. – 16. – P. 43-56. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2004.02.012.
45. Effect of different breadmaking methods on thiamine, riboflavin and pyridoxine contents of wheat bread / F. Batifoulier et al // J. Cereal Sci. – 2005. – 42. – P. 101-108. https://doi.org/10.1016/J.JCS.2005.03.003.
46. Kaur P. Yeast phytases: present scenario and future perspectives / P. Kaur, G. Kunze, T. Satyanarayana // Crit. Rev. Biotechnol. – 2008. – 27. – P. 93-109. https://doi.org/10.1080/07388550701334519.
47. Application of the selected antifungal LAB isolate as a protective starter culture in pan whole-wheat sourdough bread / A. Sadeghi et al // Food Control. – 2019. – 95. – P. 298-307. https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2018.08.013.
48. Petrova P. Lactic acid fermentation of cereals and Pseudocereals: ancient nutritional biotechnologies with modern applications / P. Petrova, K. Petrov // Nutrients – 2020. – 12. – P. 1118. https://doi.org/10.3390/NU12041118.
49. Paraprobiotics: evidences on their ability to modify biological responses, inactivation methods and perspectives on their application in foods / C.N. de Almada et al // Trends Food Sci. Technol. – 2016. – 58. – P. 96-114. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2016.09.011.
50. Viability of *Lactobacillus plantarum* P8 in bread during baking and storage. / L. Zhang et al. – 2016. – P. 7-10.
51. Effect of baking conditions and storage on the viability of *Lactobacillus plantarum* supplemented to bread / L. Zhang et al // LWT 87. – 2018. – P. 318-325. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.09.005.
52. Turkish journal of agriculture-food science and technology survival survey of lactobacillus acidophilus in additional probiotic bread / T. Duc Thang et al // J. Agric.-Food Sci. Technol. – 2019. – 7. – P. 588-592. https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i4.588-592.2247.
53. Impact of par-baking and packaging on the microbial quality of par-baked wheat and sourdough bread / E. Debonne et al // Food Control. – 2018. – 91. – P. 12-19. https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2018.03.033.
54. Păcularu-Burada B. Current approaches in sourdough production with valuable characteristics for technological and functional applications / B. Păcularu-Burada, L.A. Georgescu, G.E. Bahrim // The annals of the university Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI Food Technol. – 2020. – 44. – P. 132-148. https://doi.org/10.35219/FOODTECHNOLOGY.2020.1.08.
55. Control of spoilage fungi by protective lactic acid bacteria displaying probiotic properties / K.K. Varsha et al // Appl. Biochem. Biotechnol. – 2014. –172. – P. 3402-3413. https://doi.org/10.1007/S12010-014-0779-4.

56. Sourdough bread: starch digestibility and postprandial glycemic response / F. Scazzina et al // J. Cereal Sci. – 2009. – № 49. – P. 419-421. https://doi.org/10.1016/J.JCS.2008.12.008.
57. The acute impact of ingestion of breads of varying composition on blood glucose, insulin and incretins following first and second meals / A.M. Najjar et al // Br. J. Nutr. – 2008. – № 101. – P. 391-398. https://doi.org/10.1017/S0007114508003085.
58. Sourdough fermentation of wholemeal wheat bread increases solubility of arabinoxylan and protein and decreases postprandial glucose and insulin responses / J. Lappi et al // J. Cereal Sci. – 2010. – № 51. – P. 152-158. https://doi.org/10.1016/J.JCS.2009.11.006.
59. Whole grain wheat sourdough bread does not affect plasminogen activator inhibitor-1 in adults with normal or impaired carbohydrate metabolism / K.A. MacKay et al // Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis. – 2012. – № 22. – P. 704-711. https://doi.org/10.1016/J.NUMECD.2010.10.018.
60. Impact of sourdough fermentation on appetite and postprandial metabolic responses – a randomised cross-over trial with whole grain rye crispbread / G. Zamaratskaia et al // Br. J. Nutr. – 2017. – № 118. – P. 686-697. https://doi.org/10.1017/S000711451700263X.
61. Sourdough fermented breads are more digestible than Those started with Baker's yeast alone: an in vivo challenge dissecting distinct gastrointestinal responses / C.G. Rizzello et al // Nutrients. – 2019. – № 11. – P. 2954. https://doi.org/10.3390/NU11122954.
62. Sourdough bread made from wheat and nontoxic flours and started with selected lactobacilli is tolerated in celiac Sprue patients / R. Di Cagno et al // Appl. Environ. Microbiol. – 2004. – № 70. – P. 1088-1096. https://doi.org/10.1128/AEM.70.2.1088-1096.2004.
63. Randomised clinical trial: low-FODMAP rye bread vs. regular rye bread to relieve the symptoms of irritable bowel syndrome / R. Laatikainen et al // Aliment. Pharmacol. Ther. – 2016. – № 44. – P. 460-470. https://doi.org/10.1111/APT.13726.
64. Pilot study: comparison of sourdough wheat bread and yeast-fermented wheat bread in individuals with wheat sensitivity and irritable bowel syndrome / R. Laatikainen et al // Nutrients. – 2017. – № 9. – P. 1215. https://doi.org/10.3390/NU9111215.
65. Диета с пониженным содержанием ферментируемых олиго-, ди-, моносахаридов и полиолов в лечении пациентов с синдромом раздраженного кишечника: основные принципы и методология применения / Р.О. Куваев и др. // Вопросы питания. – 2020. – Том 89, № 6. – С. 38-47.

References

1. Afanas'eva O.V. Mikrobiologiya khlebopekarnogo proizvodstva v Rossii: NII khlebopekarnoi promyshlennosti / O.V. Afanas'eva; SPBF GoSNIIKHP, 2003. – 183 s. (In Russian).
2. Polyakova S.P. Povyshenie ustoichivosti konditerskikh i khlebobulochnykh izdelii k mikrobiologicheskoi porche / S.P. Polyakova, O.A. Sidorova // Pishchevaya promyshlennost'. – 2012. – № 5. – S.16-18. (In Russian).
3. Materialy Global'nogo Foruma FAO / VOZ po voprosam regulirovaniya bezopasnosti pishchevykh produktov. Povyshenie ehffektivnosti i otkrytosti v sistemakh bezopasnosti pishchevykh produktov. Obmen opytom. Marokko, 28-30 yanvarya 2002 g. http://www.fao.org/docrep/MEETING/004/Y3680R/Y3680R09.htm. (In Russian).
4. Grishin O.S. Vliyanie razlichnykh sposobov prigotovleniya testa na kachestvo khlebobulochnykh izdelii // Pishchevaya promyshlennost'. – 2017. – 352 s. (In Russian).
5. Auehrman L.YA. Tekhnologiya khlebopekarnogo proizvodstva: Uchebnik 9-e izd.; pererab. i dop. / Pod obshch. red. L. I. Puchkovoi. – SPb. Professiya, – 2002. – 416 s. (In Russian).
6. Afanas'eva O.V. Mikrobiologiya khlebopekarnogo proizvodstva. S.-Peterb. fil. Gos. NII khlebopekar. promyshlennosti (SPBF GoSNIIKHP). – SPb.: Beresta, – 2003. – 220 s. (In Russian).
7. Sbornik tekhnologicheskikh instruktsii dlya proizvodstva khleba i khlebobulochnykh izdelii: sbornik. – M.: Preiskurantizdat, 1989. – 494 s. (In Russian).
8. Sbornik sovremennykh tekhnologii khlebobulochnykh izdelii. – Pod obshch. red. chl.-korr. RASKHN, d.eh.n., prof. A.P. Kosovana. – M.: RASKHN, 2008. – 268 s. (In Russian).
9. Chizhova, K.N. Tekhnokhimicheskii kontrol' khlebopekarnogo proizvodstva / K.N. Chizhova, T.N. Shkvarkina, N.V. Zapenina, I.N. Maslov, F.I. Zaglodina. – Izd. 5-oe. – M.: Pishchevaya promyshlennost', 1975. – 280 s. (In Russian).
10. Puchkova L.I. Tekhnologiya khleba, konditerskikh i makaronnykh izdelii. Chast' I / L.I. Puchkova, R.D. Polandova, I.V. Matveeva. – SPb: GIORD, 2005. – 559 s. (In Russian).

11. Mediko-biologicheskie trebovaniya i sanitarnye normy kachestva prodovol'stvennogo syr'ya i pishchevykh produktov. – M.: 1992. – 182 c. (In Russian).
12. Matveeva I.V. Biotekhnologicheskie osnovy prigotovleniya khleba: ucheb. posobie dlya vuzov / I.V. Matveeva, I.G. Belyavskaya. – M: DELi print, 2001. (In Russian).
13. Krasnikova L.V. Mikrobiologiya khlebopekarnogo, konditerskogo i makaronnogo proizvodstv: Ucheb. posobie / L.V. Krasnikova, I.E. Kostrova. – SPb.: SPBGUN i PT, 2001. – 81 s. (In Russian).
14. Rehman S. Flavour in sourdough breads: a review / S. Rehman, A. Paterson, J.R. Piggott // Trends in Food Science & Technology. – 2006. – № 17. – P. 557-566. (In English).
15. Biochemistry and physiology of sourdough lactic acid bacteria / M. Gobbetti et alnds in Food Science & Technology. – 2005. – 16. – P. 57-69. (In English).
16. Prolonged fermentation of whole wheat sourdough reduces phytate level and increases soluble magnesium / H. Lopez et al // J. of Agriculture and Food Chemistry. – 2001. – 49. – P. 2657-2662. (In English).
17. Chaoui A. Making bread with sourdough improves iron bioavailability from reconstituted fortified wheat flour in mice / A. Chaoui, M. Faid, R. Belahsen // J. of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2006. – 20. – P. 217-220. (In English).
18. Glucan and Fructan Production by Sourdough Weissella cibaria and Lactobacillus plantarum / R. Di Cagno et al // J. of Agricultural and Food Chemistry. – 2006. – № 54(26). – P. 9873-9881. (In English).
19. Tieking M. Exopolysaccharides from cereal associated lactobacilli / M. Tieking, M.G. Ganzle // Trends Food Sci. Technol. – 2005. – № 16. – P. 79-84. (In English).
20. Bread making using kefir grains as baker's yeast / S. Plessas et al // Food Chemistry. – 2005. – 93. – P. 585-589. (In English).
21. Fermentation efficiency of thermally dried immobilized kefir on casein as starter culture / D. Dimitrellou et al // Process Biochemistry. – 2008. – 43. – P. 1323-1329. (In English).
22. Role of lactic acid bacteria and yeasts in sourdough fermentation during breadmaking: Evaluation of postbiotic-like components and health benefits / R. Omar et al // Microbiol. Sec. Food Microbiology. – 2022. – V. 13. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.969460. (In English).
23. Poutanen K. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective / K. Poutanen, L. Flander, K. Katina // Food Microbiol. – 2009. – R. 693-699. https://doi.org/10.1016/J.FM.2009.07.011. (In English).
24. Sourdough fermented breads are more digestible than Those started with Baker's yeast alone: an in vivo challenge dissecting distinct gastrointestinal responses / C.G. Rizzello et al // Nutrients. – 2019. – 11. – R. 2954. https://doi.org/10.3390/NU11122954. (In English).
25. Microbial ecology of sourdough fermentations / L. De Vuyst et al // Food Microbiol. – 2014. – 37. – R. 11-29. https://doi.org/10.1016/J.FM.2013.06.002. (In English).
26. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics / S. Salminen et al // Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. – 2021. – 18. – R. 649-667. https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6. (In English).
27. Postbiotics-parabiotics: the new horizons in microbial biotherapy and functional foods / B.H. Nataraj et al // Microb. Cell Factories. – 2020. – 19. – R. 1-22. https://doi.org/10.1186/S12934-020-01426-W/TABLES/2. (In English).
28. Selection of wild lactic acid bacteria strains as promoters of postbiotics in gluten-free sourdoughs / B. Păcularu-Burada et al // Microorganisms. – 2002. – 8. – R. 643. https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS8050643. (In English).
29. Liquid and firm sourdough fermentation: microbial robustness and interactions during consecutive backsloppings / V. Galli et al // M. LWT. – 2019. – № 105. – R. 9-15. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2019.02.004. (In English).
30. Corsetti A. Technology of sourdough fermentation and sourdough applications / A. Corsetti // Handbook on Sourdough Biotechnology. – 2013. – R. 85-103. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5425-0_4. (In English).
31. De Vuyst L. Microbial ecology and process technology of sourdough fermentation / L. De Vuyst, S. Van Kerrebroeck, F. Leroy // Adv. Appl. Microbiol. – 2017. – № 100. – R. 49-160. https://doi.org/10.1016/BS.AAMBS.2017.02.003. (In English).

32. Sourdough Bread / K. Papadimitriou et al // Innovations in Traditional Foods. – 2019. – R. 127-158. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814887-7.00006-X. (In English).
33. Preedy V.R. Flour and breads and their fortification in health and disease prevention / V.R. Preedy, R.R. Watson // Academic Press. – 2019. https://doi.org/10.1016/C2017-0-01593-8. (In English).
34. Sensory and physicochemical characterization of sourdough bread prepared with a coconut water kefir starter / M. Limbad et al // Foods. – 2020. – № 9. – 1165 r. https://doi.org/10.3390/FOODS9091165. (In English).
35. Chavan R.S. Sourdough technology – a traditional way for wholesome foods: a review / R.S. Chavan, S.R. Chavan // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. – 2011. – № 10. – R. 169-182. https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2011.00148.X. (In English).
36. Yeast biodiversity in fermented Doughs and raw cereal matrices and the study of technological traits of selected strains isolated in Spain / R. Chiva et al // Microorganisms. – 2021. – R. 9-47. https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS9010047. (In English).
37. Characterization and selection of functional yeast strains during sourdough fermentation of different cereal wholegrain flours / M. Palla et al // Sci. Rep. – 2020. – № 10. – R. 12856-12815. https://doi.org/10.1038/s41598-020-69774-6. (In English).
38. Fungal species diversity in French bread sourdoughs made of organic wheat flour / S. Urien et al // Front. Microbiol. – 2019 – № 10. – R. 201. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00201. (In English).
39. Contribution of the tricarboxylic acid (TCA) cycle and the glyoxylate shunt in Saccharomyces cerevisiae to succinic acid production during dough fermentation / M.N. Rezaei et al // Int. J. Food Microbiol. – 2015. – № 204. – R. 24-32. https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2015.03.004. (In English).
40. De Vuyst L. Sourdough production: fermentation strategies, microbial ecology, and use of non-flour ingredients / L. De Vuyst, A. Comasio, S.V. Kerrebroeck // Crit. Rev. Food Sci. – 2021. – R. 1-33. https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1976100. (In English).
41. Pico J. Wheat bread aroma compounds in crumb and crust: a review / J. Pico, J. Bernal, M. Gómez // Food Res. Int. – 2015. – № 75. – R. 200-215. https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2015.05.051. (In English).
42. Mapping of Saccharomyces cerevisiae metabolites in fermenting wheat straight-dough reveals succinic acid as pH-determining factor / V.B. Jayaram et al // Food Chem. – 2013. – № 136. – R. 301-308. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2012.08.039. (In English).
43. Wang T. Improving bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in cereal grains through processing technologies: a concise review / T. Wang, F. He, G. Chen // J. Funct. Foods. – 2014. – 7. – R. 101-111. https://doi.org/10.1016/J.JFF.2014.01.033. (In English).
44. De Vuyst L. The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions / L. De Vuyst, and P. Neysens // Trends Food Sci. Technol. – 2005. – 16. – R. 43-56. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2004.02.012. (In English).
45. Effect of different breadmaking methods on thiamine, riboflavin and pyridoxine contents of wheat bread / F. Batifoulier et al // J. Cereal Sci. – 2005. – 42. – R. 101-108. https://doi.org/10.1016/J.JCS.2005.03.003. (In English).
46. Kaur P. Yeast phytases: present scenario and future perspectives / P. Kaur, G. Kunze, T. Satyanarayana // Crit. Rev. Biotechnol. – 2008. – 27. – R. 93-109. https://doi.org/10.1080/07388550701334519. (In English).
47. Application of the selected antifungal LAB isolate as a protective starter culture in pan whole-wheat sourdough bread / A. Sadeghi et al // Food Control. – 2019. – 95. – R. 298-307. https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2018.08.013. (In English).
48. Petrova P. Lactic acid fermentation of cereals and Pseudocereals: ancient nutritional biotechnologies with modern applications / P. Petrova, K. Petrov // Nutrients – 2020. – 12. – R. 1118. https://doi.org/10.3390/NU12041118. (In English).
49. Paraprobiotics: evidences on their ability to modify biological responses, inactivation methods and perspectives on their application in foods / C.N. de Almada et al // Trends Food Sci. Technol. – 2016. – 58. – R. 96-114. https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2016.09.011. (In English).
50. Viability of Lactobacillus plantarum P8 in bread during baking and storage. / L. Zhang et al. – 2016. – R. 7-10. (In English).

51. Effect of baking conditions and storage on the viability of Lactobacillus plantarum supplemented to bread / L. Zhang et al // LWT 87. – 2018. – R. 318-325. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.09.005. (In English).
52. Turkish journal of agriculture-food science and technology survival survey of lactobacillus acidophilus in additional probiotic bread / T. Duc Thang et al // J. Agric.-Food Sci. Technol. – 2019. – 7. – R. 588-592. https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i4.588-592.2247. (In English).
53. Impact of par-baking and packaging on the microbial quality of par-baked wheat and sourdough bread / E. Debonne et al // Food Control. – 2018. – 91. – R. 12-19. https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2018.03.033. (In English).
54. Păcularu-Burada B. Current approaches in sourdough production with valuable characteristics for technological and functional applications / B. Păcularu-Burada, L.A. Georgescu, G.E. Bahrim // The annals of the university Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI Food Technol. – 2020. – 44. – R. 132-148. https://doi.org/10.35219/FOODTECHNOLOGY.2020.1.08. (In English).
55. Control of spoilage fungi by protective lactic acid bacteria displaying probiotic properties / K.K. Varsha et al // Appl. Biochem. Biotechnol. – 2014. –172. – R. 3402-3413. https://doi.org/10.1007/S12010-014-0779-4. (In English).
56. Sourdough bread: starch digestibility and postprandial glycemic response / F. Scazzina et al // J. Cereal Sci. – 2009. – № 49. – R. 419-421. https://doi.org/10.1016/J.JCS.2008.12.008. (In English).
57. The acute impact of ingestion of breads of varying composition on blood glucose, insulin and incretins following first and second meals / A.M. Najjar et al // Br. J. Nutr. – 2008. – № 101. – R. 391-398. https://doi.org/10.1017/S0007114508003085. (In English).
58. Sourdough fermentation of wholemeal wheat bread increases solubility of arabinoxylan and protein and decreases postprandial glucose and insulin responses / J. Lappi et al // J. Cereal Sci. – 2010. – № 51. – R. 152-158. https://doi.org/10.1016/J.JCS.2009.11.006. (In English).
59. Whole grain wheat sourdough bread does not affect plasminogen activator inhibitor-1 in adults with normal or impaired carbohydrate metabolism / K.A. MacKay et al // Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis. – 2012. – № 22. – R. 704-711. https://doi.org/10.1016/J.NUMECD.2010.10.018. (In English).
60. Impact of sourdough fermentation on appetite and postprandial metabolic responses – a randomised cross-over trial with whole grain rye crispbread / G. Zamaratskaia et al // Br. J. Nutr. – 2017. – № 118. – R. 686-697. https://doi.org/10.1017/S000711451700263X. (In English).
61. Sourdough fermented breads are more digestible than Those started with Baker's yeast alone: an in vivo challenge dissecting distinct gastrointestinal responses / C.G. Rizzello et al // Nutrients. – 2019. – № 11. – R. 2954. https://doi.org/10.3390/NU11122954. (In English).
62. Sourdough bread made from wheat and nontoxic flours and started with selected lactobacilli is tolerated in celiac Sprue patients / R. Di Cagno et al // Appl. Environ. Microbiol. – 2004. – № 70. – R. 1088-1096. https://doi.org/10.1128/AEM.70.2.1088-1096.2004. (In English).
63. Randomised clinical trial: low-FODMAP rye bread vs. regular rye bread to relieve the symptoms of irritable bowel syndrome / R. Laatikainen et al // Aliment. Pharmacol. Ther. – 2016. – № 44. – R. 460-470. https://doi.org/10.1111/APT.13726. (In English).
64. Pilot study: comparison of sourdough wheat bread and yeast-fermented wheat bread in individuals with wheat sensitivity and irritable bowel syndrome / R. Laatikainen et al // Nutrients. – 2017. – № 9. – R. 1215. https://doi.org/10.3390/NU9111215. (In English).
65. Dieta s ponizhennym soderzhaniem fermentiruemykh oligo-, di-, monosakharidov i poliolov v lechenii patsientov s sindromom razdrazhennogo kishechnika: osnovnye printsipy i metodologiya primeneniya / R.O. Kuvaev i dr. // Voprosy pitaniya. – 2020. – Tom 89, № 6. – S. 38-47. (In Russian).

Л.Б. Өмірәлиева[1], А.Б. Оспанов[1]*, Э.Т. Исмаилова[2], И.Д. Филатов[3]
[1]Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсібі ғылыми зерттеу институты,
Республикасы, Алматы қ., Гагарин даңғылы, 238 ж 2
[2]ЖШС «Микробиология және виросология ғылыми-өндірістік орталығы»,
050010, Алматы қ., Медеу ауданы, Бөгенбай батыр көшесі, 105
[3]Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті,
050060, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Әл-Фараби даңғылы, 89/21
*e-mail: a-ospanov@mail.ru

БЕЛСЕНДІЛІГІ ЖОҒАРЫ МИКРООРГАНИЗМДЕР НЕГІЗІНДЕ НАН ПІСІРУ ӨНДІРІСІНЕ АРНАЛҒАН АШЫТҚЫ БИОПРЕПАРАТТАРДЫ ӨНДІРУДІҢ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ АСПЕКТТЕРІНЕ АНАЛИТИКАЛЫҚ ШОЛУ

Мақалада нан өнімдерін шығаруға арналған белсенділігі жоғары микроорганизмдер негізінде жасалған биопрепараттар бойынша зерттеулерге бағытталған әдебиеттерге шолу жасалған. Микроорганизмдердің функциясы және оларды өндіру тәсілдері, ашытқыларды ферментациялау процесі, бактериялар мен ашытқылардың ферментациядағы ролі, ашытқыларды постбиотикалық бағалау, қамырды термиялық өңдеудің нан өнімдерінің сапасына әсері қарастырылған және сараптама жасалған.

Зерттеулер нан өнімдері шикізатындағы микроорганизмдердің тиімділігін арттыру мен белсенділігін реттеу мүмкіншіліктерін анықтаған, ал олар технологиялық процесті тиімді үйлестіруге және нан өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін арттыруға мүмкіншілік береді. Сонымен қатар, ашытқыдағы постбиотикалық компоненттер адам денсаулығына пайдалы қасиеттермен қамтамасыз етеді, оларға жақсы сіңімділік пен таралу және антиоксиданттық қасиеттер жатады. Алайда, зерттеулерде постбиотикалық компоненттердің қасиеттері мен тұрақтылық сипаттары толық қарастырылмаған.

Біздің зерттеулердің бағыты нан өнімдерінде адамға пайдалы әсер беретін постбиотикалық қасиеттері бар жоғары белсенді микроорганизмдер негізінде болуы керектігі анықталды. Сондықтан да, біздің зерттеулер адам ағзасына пайдалы болып келетін микробиологиялық косорциум мен ингредиенттерден тұратын ашытқыны жасау көзделді және өндірістік тәсілде микроорганизмдерді өсірудің, сұйық ашытқылардың тиімді әдістерін жасауға бағытталады.

***Түйін сөздер**: сүтқышқылды бактериялар, ашытқылар, ферментация, микробиологиялық бұзылу, нан өндірісі.*

L.B. Umiralieva[1], A.B. Ospanov[1]*, E.T. Ismailova[2], I.D. Filatov[3]
[1]LLP «Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry»,
050060, Republic of Kazakhstan, Almaty, 238 Gagarina Avenue
[2]LLP «Research and Production Center of Microbiology and Virology»,
050010, Republic of Kazakhstan, Almaty, 105 Bogenbai Batyr Street,
[3]International University of Engineering and Technology,
050060, Republic of Kazakhstan, Almaty, 89/21 Al-Farabi Avenue
*e-mail: a-ospanov@mail.ru

ANALYTICAL REVIEW OF MICROBIOLOGICAL ASPECTS OF PRODUCTION OF BIOLOGICAL PRODUCTS OF STARTERS FOR BAKING PASTRY BASED ON HIGHLY ACTIVE CULTURES OF MICROORGANISMS

The article presents a review of the literature on research on the development of biological products based on highly active cultures of microorganisms for the production of bakery products. The function of microorganisms and their production methods, the fermentation process of starter cultures, the role of bacteria and yeast in fermentation are considered and evaluated, a postbiotic assessment of starter cultures is carried out, and the effect of dough heat treatment on the quality of a bakery product is studied. Research confirms the possibility of increasing the efficiency and regulating the activity of microorganisms in semi-finished bakery products, which will optimize the technological process, reduce technological costs and improve the quality and safety of bakery products. It has also been established that the postbiotic components in sourdough provide beneficial properties for human health, such as better digestibility, saturation, and antioxidant properties. The properties characterizing the stability and properties of postbiotic components after the baking process have been poorly studied in studies. We have identified the need for research based on highly active cultures of microorganisms to develop bread products with postbiotic properties beneficial to the health of the country's population. Therefore, our research will focus on creating a starter culture with a specific microbiological consortium and ingredients that has the ability to enhance nutrients and benefit human health, as well as on developing an effective method for the industrial cultivation of microorganisms for the production of bakery semi-finished products, liquid yeast and starter cultures.

***Key words:** lactic acid bacteria, yeast, fermentation, starter cultures, microbiological spoilage, baking.*

Сведения об авторах

Ляззат Бекеновна Умиралиева – заместитель председателя Правления ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», кандидат технических наук, Республика Казахстан, г. Алматы; e-mail: l.umiraliyeva@rpf.kz.

Асан Бекешович Оспанов* – главный научный сотрудник ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», доктор технических наук, Республика Казахстан, г. Алматы; e-mail: a-ospanov@mail.ru.

Эльвира Такешевна Исмаилова – заведующая отделом ТОО «Научно-производственный центр микробиологии и вирусологии», кандидат сельскохозяйственных наук, Республика Казахстан, г.Алматы; e-mail: elya7506@mail.ru.

Иван Дмитрьевич Филатов – докторант Международного инженерно-технологического университета, Республика Казахстан, г.Алматы; e-mail: i.filatov@rpf.kz.

Авторлар туралы мәліметтер

Ляззат Бекенқызы Өмірәлиева – ЖШС «Казақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсібі ғылыми зерттеу институты» басқарма төрағасының орынбасары, техника ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы; e-mail: l.umiraliyeva@rpf.kz.

Асан Бекешұлы Оспанов* – ЖШС «Казақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсібі ғылыми зерттеу институты» бас ғылыми қызметкері, техника ғылымдарының докторы, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы; e-mail: a-ospanov@mail.ru.

Эльвира Такешқызы Исмаилова – ЖШС «Микробиология және виросология ғылыми-өндірістік орталығы» бөлім меңгерушісі, ауылшаруашылық ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы; e-mail: elya7506@mail.ru.

Иван Дмитрьевич Филатов – Халықаралық инженерлік-технологиялық университетінің докторанты, Қазақстан Республикасы, г.Алматы қаласы; e-mail: i.filatov@rpf.kz.

Information about the authors

Lyazzat Bekenovna Umiralieva – Deputy Chairman of the Board of LLP «Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry», Candidate of Technical Sciences, Republic of Kazakhstan, Almaty; e-mail: l.umiraliyeva@rpf.kz.

Assan Bekeshovich Ospanov* – Chief Researcher, Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry LLP, Doctor of Technical Sciences, Republic of Kazakhstan, Almaty; e-mail: a-ospanov@mail.ru.

Elvira Takeshevna Ismailova – Head of the Department of Scientific and Production Center of Microbiology and Virology LLP, Candidate of Agricultural Sciences, Republic of Kazakhstan, Almaty; e-mail: elya7506@mail.ru.

Ivan Dmitrievich Filatov – Doctoral student at the International University of Engineering and Technology, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: i.filatov@rpf.kz.

Поступила в редакцию 18.06.2025
Поступила после доработки 28.08.2025
Принята к публикации 29.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-46

BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 65.59.29

Э.К. Окусханова*, Б.К. Асенова[1], Ж.М. Атамбаева[1], Н.Т. Тимур[1], М.Б. Ребезов[2]
[1]Шәкәрім Университет,
071412, Республика Казахстан, город Семей, улица Глинки, 20 А
[2]ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН,
109316, Российская Федерация, г. Москва, ул. Талалихина, 26
*e-mail: eleonora-okushan@mail.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ КОТЛЕТ ДЛЯ БУРГЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕЛКОВО-ЖИРОВОЙ ЭМУЛЬСИИ

Аннотация: *В ходе исследования была разработана и оптимизирована технология производства бургерных котлет с использованием 15 % белково-жировой эмульсии на растительно-животной основе, обеспечивающей улучшенные функциональные и питательные свойства продукта. Для приготовления эмульсии применялись казеинат натрия, льняная мука, сублимированные овощи и подсолнечное масло, что позволило сформировать стабильную дисперсную систему. Химический анализ показал рост содержания белка на 18%, углеводов на 267% и золы на 23%, при одновременном снижении общего жира и влажности по сравнению с контрольным образцом. Физико-химические испытания выявили уменьшение динамической вязкости и напряжения сдвига, а влагосвязывающая способность фарша возросла с 67,5% до 71,3%, что свидетельствует о повышенной водоудерживающей способности и улучшенной текстурной стабильности. Органолептический анализ показал более лучшие результаты по цветовым, текстурным и вкусовым характеристикам по сравнению с контрольным образцом. Микробиологический контроль гарантировал безопасность продукта: патогенные микроорганизмы не обнаружены, общее количество микробов значительно ниже допустимых норм. Разработанные котлеты снижают*

потребление потенциально вредных насыщенных жирных кислот, что способствует улучшению липидного профиля питания и снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний.

Ключевые слова: *эмульсия; котлеты; бургеры; насыщенные жирные кислоты; растительное масло.*

Введение

Мясные котлеты для бургеров являются неотъемлемой частью современного питания, однако традиционные рецептуры, содержащие высокое количество насыщенных жиров и холестерина, вызывают озабоченность с точки зрения здоровья потребителей. Избыточное потребление таких компонентов связано с повышением риска сердечно-сосудистых заболеваний, а также может способствовать формированию вредных кулинарных продуктов, таких как полициклические ароматические углеводороды и гетероциклические амины, возникающие при высокотемпературной термической обработке [1].

Чтобы уменьшить негативное влияние традиционного состава, исследователи предлагают использовать эмульсии на растительной основе, которые способны имитировать текстурные и сенсорные характеристики животного жира при значительно более благоприятном липидном профиле. Применение эмульсионных гелей, содержащих растительные масла (оливковое, чиа, водорослевое), позволяет существенно снизить содержание насыщенных жиров, повысить долю полезных полиненасыщенных жирных кислот и, одновременно, сохранить органолептические свойства готового продукта. Такие подходы, как показано в работах Cîrstea et al. (2023) и других исследователей, обеспечивают улучшение пищевой ценности котлет при сохранении их вкусовых и текстурных характеристик, что соответствует современным требованиям здорового питания [2-6].

Эмульсии в технологии мясных продуктов применяют для замены или снижения доли животных жиров, не ухудшая при этом вкусовые и технологические характеристики. Главным преимуществом использования таких эмульсий является их способность образовывать стабильную систему из воды, масла и белково-полисахаридной матрицы. Это улучшает сочность и текстуру изделий, позволяя достичь более «лёгкого» вкуса и уменьшить содержание насыщенных жиров [7]. Благодаря повышенному уровню полиненасыщенных жирных кислот и пониженному содержанию насыщенных жиров, эмульсии могут положительно влиять на липидный профиль организма и снижать риск сердечно-сосудистых заболеваний. Такой подход способствует разработке более здоровых альтернатив традиционным колбасным изделиям без значительной потери вкусовых качеств.

Насыщенные жирные кислоты, присутствующие в котлетах для бургеров, могут негативно влиять на здоровье при их регулярном потреблении. Чрезмерное употребление насыщенных жиров связано с повышением уровня "плохого" холестерина (ЛПНП) в крови, что увеличивает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, таких как атеросклероз, инфаркт и инсульт. Кроме того, избыток насыщенных жиров в рационе может способствовать набору лишнего веса и развитию ожирения, что, в свою очередь, повышает риск диабета 2 типа и других метаболических нарушений [8].

Помимо насыщенных жиров, котлеты для бургеров могут содержать и другие потенциально вредные ингредиенты. Например, в панировке некоторых котлет используются пшеничная мука, соль, дрожжи и специи, а также добавляются загустители и экстракты специй. Обжарка таких котлет часто производится на растительных маслах, что увеличивает их калорийность. Некоторые продукты могут содержать добавки, такие как декстроза, лук, ароматизаторы и красители. Кроме того, в процессе промышленного производства могут использоваться консерванты и усилители вкуса, которые при чрезмерном потреблении могут негативно сказываться на здоровье [9].

Для снижения потенциальных рисков рекомендуется ограничить потребление бургеров с насыщенными жирами и обратить внимание на альтернативные варианты, такие как растительные котлеты, содержащие растительные белки и масла. Например, некоторые растительные котлеты для бургеров включают в свой состав текстурированный растительный белок (подсолнечный, соевый, гороховый), рафинированные дезодорированные растительные масла (рапсовое, кокосовое, подсолнечное), а также витамины и минералы, такие как витамин D3, витамин B12, кальций и железо. Такие продукты могут быть более полезными и содержать меньше насыщенных жиров по сравнению с традиционными мясными котлетами [10].

Цель работы: Разработать и оптимизировать технологию производства котлет для бургеров с использованием белково-жировой эмульсии, заменяющей традиционные животные жиры, для повышения питательной ценности, улучшения текстурных и сенсорных характеристик готового продукта, а также обеспечения его микробиологической безопасности.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются котлеты для бургеров, изготовленные на основе говяжьего фарша с добавлением белково-жировой эмульсии, полученной из растительных и животных компонентов.

Сырьё для котлет: говяжий фарш (с жирностью 20-30%), репчатый лук, соль, перец, вода.

Белково-жировая эмульсия: эмульсия готовилась с использованием воды (37,5%), подсолнечного масла (15%), казеината натрия (32,5%), льняной муки (5%) и сублимированных овощей (тыква и морковь, суммарно 10%).

Оборудование: мясорубка (решетка 4-6 мм), высокоскоростной блендер для приготовления эмульсии, фаршемешалка, аналитические весы.

В рамках исследования проводились физико-химический анализ (динамическая вязкость, напряжение сдвига, влагосвязывающая способность фарша, pH), химический анализ состава, органолептическая оценка и микробиологический контроль готовых котлет.

Определение общего химического состава проводили методом одной навески исследуемой пробы. Метод заключается в последовательном определении в одной навеске продукта содержания влаги, жира, золы и белка, с использованием устройства для определения влажности и жирности мясных и молочных продуктов ускоренным методом [11].

Определение влагосвязывающей способности мяса. Метод основан на выделении испытуемым образцом при легком его прессовании, сорбции выделяющейся воды фильтровальной бумагой и определении количества отделившейся влаги по размеру площади пятна, оставляемого ею на фильтрованной бумаге [12].

Определение микробиологических показателей. Микробиологическую оценку продукта производили по методам бактериологического анализа согласно ГОСТ 9958 . Отбор проб для анализа по ГОСТ 9792. Определяли следующие показатели: общее количество микроорганизмов в 1 г продукта; наличие бактерий группы кишечной палочки рода Proteus; наличие патогенных микроорганизмов.

Органолептическая оценка готовой продукции оценивалась на дегустационных комиссиях по пятибалльной шкале. При органолептической оценке устанавливали соответствие основных качественных показателей (внешний вид, цвет на разрезе, запах, вкус, консистенцию) изделий требованиям стандарта.

Активную кислотность среды (pH) определяли потенциометрическим методом на приборе pH-метр-340, погружением двух электродов в раствор с фиксацией значения pH на шкале прибора. Раствор (водную вытяжку) готовили из измельченного продукта с водой (в соотношении 1:10). pH измеряли после настаивания в течение 30 минут при температуре 20^0C [13].

Методика определения динамической вязкости и напряжения сдвига проводилась с использованием ротационного вискозиметра фирмы BOYN (Китай) и соответствующего ротора.

Статистическая обработка результатов. Обработку результатов измерений осуществляли с помощью программы Excel-2016. Результаты анализов были статистически значимы при $p \leq 0.05$. Данные представлены как средней значение ± стандартное отклонение, рассчитанного на основе пяти параллельных измерений.

Результаты исследований

Технология подготовки белково-жировой эмульсии

На первоначальной стадии нами была разработана рецептура и технология получения белково-жировой эмульсии. В состав белково-жировой эмульсии включены функциональные компоненты с высокой питательной и технологической ценностью. В качестве белкового стабилизатора выбран казеинат натрия – водорастворимая соль казеина с выраженными эмульгирующими, влагоудерживающими и загущающими свойствами, обеспечивающими структурную устойчивость эмульсии [14]. Его применение регламентировано ГОСТ 33920-2016. Дополнительным стабилизатором служит льняная мука, обогащённая пищевыми

волокнами, растительными белками и полиненасыщенными жирными кислотами, способствующими повышению вязкости системы [15]. В качестве липидной фазы используется подсолнечное масло, обладающее высокой пищевой ценностью за счёт содержания витамина Е и незаменимых жирных кислот [16]. Сублимированные овощи (тыква и морковь) служат источником каротиноидов, витаминов и минеральных веществ, а также вносят дополнительную текстуру и усиливают антиоксидантный потенциал эмульсии [17]. Комплексное применение компонентов обеспечивает формирование стабильной, функционально обогащённой эмульсии, пригодной для использования в составе мясных изделий.

БЖЭ готовилась по рецептуре, представленной в таблице 1. Соотношение компонентов эмульсии обусловлено физико-химическими и функциональными требованиями. Вода обеспечивает непрерывную фазу, необходимую для гидратации белков и полисахаридов, формируя стабильную матрицу. Подсолнечное масло создает дисперсную липидную фазу, оптимизируя текстуру и стабильность эмульсии. Белковый порошок с высоким содержанием белка (75%) выступает основным эмульгатором, снижая межфазное натяжение. Льняная мука (5%) усиливает вязкость, а овощи (10%) вносят углеводы и микроэлементы, улучшая питательную ценность при сохранении технологической устойчивости системы.

Таблица 1 – Рецептура белково-жировой эмульсии

Ингредиент	Содержание, %
Молочный белок	32.5
Льняная мука	5
Растительное масло	15
Сублимированная тыква	10
Вода	37.5

Методика приготовления белково-жировой эмульсии (БЖЭ) включала последовательное введение компонентов с использованием лабораторного блендера. На первом этапе в рабочую камеру блендера вливали 37,5% дистиллированной воды при температуре 20-25°С, выполнявшей функцию непрерывной фазы эмульсии. Далее постепенно добавляли 32,5% белкового порошка, при этом блендер работал на средней скорости (5000-7000 об/мин); перемешивание продолжалось 2-3 минуты до получения однородной суспензии. Следующим этапом было введение 5% льняной муки, которую вносили при непрерывном перемешивании (7000 об/мин), добиваясь равномерного распределения частиц и увеличения вязкости системы. После этого добавляли по 5% сублимированной тыквы и моркови, продолжая гомогенизацию в течение 2-3 минут для их полной гидратации и включения в структуру. Этап эмульгирования начинали с плавного введения 15% подсолнечного масла тонкой струей при высокой скорости работы блендера, обеспечивая формирование мелкодисперсных капель жира; после полного добавления масла гомогенизацию продолжали ещё 2 минуты. Готовую эмульсию визуально оценивали: структура должна быть однородной, без признаков расслоения, температура не превышала 40°С во избежание денатурации белков. При необходимости образец охлаждали до 20-25°С. Оценка стабильности проводилась визуально по отсутствию разделения фаз в течение 30 минут хранения. Готовую эмульсию хранить при температуре 4±2°С в герметичной емкости не более 24 часов для предотвращения микробиологической порчи и окисления липидов.

Исследование химического состава белково-жировой эмульсии

Химический состав отражает сбалансированное соотношение компонентов, обеспечивающих как питательную, так и технологическую ценность продукта. Белковая фракция, состоящая преимущественно из казеината натрия с добавлением белковых фракций льняной муки и овощей, подтверждает высокую протеиновую ценность эмульсии, что является значимым для разработки функциональных продуктов, таких как спортивное питание или высокобелковые котлеты для бургеров. Жировая фракция формируется в основном за счёт подсолнечного масла, обеспечивая оптимальное соотношение полезных жирных кислот и поддерживая сочную текстуру конечного продукта без избыточной калорийности. Углеводы, составляющие 10%, поступают из льняной муки и сублимированных овощей, что способствует образованию однородной углеводно-белковой матрицы и

улучшению стабильности эмульсии. Небольшое содержание золы (2,08%) указывает на наличие минеральных веществ, способствующих стабилизации системы, а высокая влажность (45,70%) обеспечивает дисперсионную среду для растворения белков и полисахаридов, формирующих вязкую матрицу для эмульгирования жиров (рис. 1).

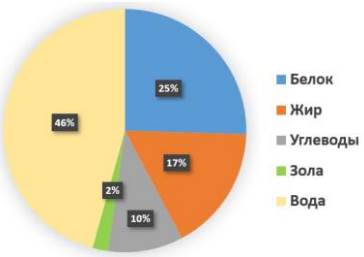


Рисунок 1 – Химический состав белково-жировой эмульсии

Технология и рецептура котлет для бургера

На следующем этапе была разработана технология производства котлет для бургеров с использованием белково-жировой эмульсии (БЖЭ) в различных концентрациях (табл. 2). Для приготовления четырех вариантов котлетной массы (общей массой 1500 г каждый) использовались следующие рецептуры: контрольный образец без эмульсии и три опытных образца с добавлением БЖЭ в концентрациях 5%, 15% и 25%, соответственно, при условии пропорционального снижения содержания говяжьего фарша.

Таблица 2 – Рецептура котлет

Рецептура	Контроль	Опытные образцы		
		5%	15%	25%
Мясо говядины	90.0	88.0	78.0	68
БЖЭ	0.0	5.0	15.0	25
Лук	5.0	5.0	5.0	5.0
Соль	1.5	1.5	1.5	1.5
Перец	0.5	0.5	0.5	0.5
Вода	3.0	-	-	-
Итого	100	100	100	100

Говяжий фарш, охлажденный до 2-4°С, измельчался в мясорубке с решеткой 4-6 мм, а репчатый лук подвергался предварительной обработке до состояния пюре или мелкой нарезки. Все компоненты смешивались в смесителе или вручную до получения гомогенной массы, после чего проводилась формовка котлет заданной формы с последующим охлаждением для стабилизации структуры. Контроль качества осуществлялся по показателям однородности, консистенции и массы готовых изделий.

Исследование химического состава котлет

Химический состав контрольного варианта показал: белок 15,01%, жир 20,27%, зола 0,86%, углеводы 0,56%, влага 63,30% (табл. 3). При добавлении 5% БЖЭ (вариант 2) наблюдалось увеличение белка до 15,97%, жира до 20,66%, золы до 0,95%, углеводов до 1,04% и снижение влаги до 61,39%. При увеличении эмульсии до 15% (вариант 3) белок достиг 16,84%, жир составил 20,08%, зола – 1,06%, углеводы – 2,06%, а влага снизилась до 59,96%. В варианте 4 с 25% БЖЭ белок увеличился до 17,72%, жир снизился до 19,48%, зола – до 1,18%, углеводы – до 3,09%, а влага снизилась до 58,53%.

Таблица 3 – Химический состав фарша котлет

Варианты котлет	Влага	Белок	Жир	Зола	Углеводы
Вариант 1 (Контроль)	$63.30\pm0,94^{b}$	15.01 ± 0.17^{a}	20.27 ± 0.29^{a}	0.86 ± 0.01^{a}	0.56 ± 0.01^{a}
Вариант 2 (5%)	$61.39\pm1,14^{b}$	15.97 ± 0.26^{a}	20.66 ± 0.25^{a}	0.95 ± 0.01^{b}	1.04 ± 0.01^{b}
Вариант 3 (15%)	$59.96\pm0,66^{a}$	16.84 ± 0.26^{b}	20.08 ± 0.30^{a}	1.06 ± 0.01^{c}	2.06 ± 0.02^{c}
Вариант 4 (25%)	$58.53\pm0,81^{a}$	17.72 ± 0.40^{b}	19.48 ± 0.32^{a}	1.18 ± 0.02^{d}	3.09 ± 0.04^{d}

$^{a-d}$ значения в одной колонке с разными буквами достоверно различаются ($p < 0,05$)

Эти данные демонстрируют, что добавление БЖЭ значительно повышает содержание белка, золы и углеводов, при этом наблюдается постепенное снижение содержания жира и влаги по мере увеличения доли эмульсии. Такое изменение состава свидетельствует о перераспределении компонентов: белково-полисахаридная матрица БЖЭ обогащает продукт дополнительными питательными веществами, улучшая его функциональные характеристики без существенного ухудшения текстуры. Сравнительный анализ позволяет сделать вывод о перспективности использования БЖЭ для повышения питательной ценности котлет при сохранении их технологических свойств.

Таким образом, добавление БЖЭ линейно увеличивает содержание белка (от 15.01% до 17.72%) за счет высокого уровня белка в эмульсии (25.46%), что делает ее эффективным функциональным ингредиентом для обогащения мясных изделий. Содержание жира остается относительно стабильным (19.48-20.66%), так как снижение мясного жира компенсируется липидами эмульсии. Включение эмульсии значительно повышает углеводы (до 3.09% при 25%), что связано с овощами и льняной мукой, улучшая питательный профиль. Замещение фарша эмульсией снижает влагу (с 63.30% до 58.53%), что может влиять на сочность котлет после термической обработки. Увеличение золы (до 1.18%) отражает минеральный вклад эмульсии, включая соль и овощные компоненты. Эти данные демонстрируют потенциал БЖЭ для создания мясных изделий с улучшенным белковым составом и измененными физико-химическими свойствами, что требует дальнейшего исследования органолептических характеристик и текстуры после приготовления.

На следующем этапе исследовали физико-химические показатели котлет: активная кислотность (pH), влагосвязывающая способность, вязкость и напряжение сдвига. В ходе исследования наблюдалось снижение динамической вязкости котлетной массы с увеличением содержания эмульсии: контрольный вариант – 75 961 мПа·с, при 5% эмульсии – 63 807 мПа·с, при 15% – 56 970 мПа·с, при 25% – 51 653 мПа·с (рис. 2). Напряжение сдвига также уменьшалось – от 66 845 мПа в контрольном образце до 45 455 мПа при 25% эмульсии (при 5% – 56 150 мПа, при 15% – 50 134 мПа). Влагосвязывающая способность фарша (ВСС) возрастала с 67,50% для контрольного варианта до 72,40% при 25% эмульсии, что свидетельствует об увеличении удержания влаги (рис. 3). Значения pH варьировались в узком диапазоне: 6,08 для контрольного варианта, 6,10 при 5%, 6,11 при 15% и 6,27 при 25% эмульсии, указывая на незначительное повышение кислотности с ростом содержания эмульсии (рис. 4).

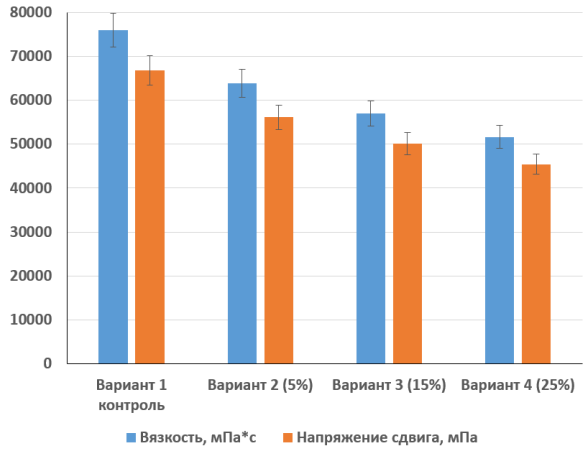


Рисунок 2 – Изменение вязкости и напряжения сдвига котлетной массы в зависимости от содержания эмульсии

Динамическая вязкость котлетной массы значительно снижалась с увеличением содержания эмульсии, что указывает на ослабление структуры мясной матрицы за счёт замещения части мясного белка компонентами эмульсии. Снижение вязкости с 75 961 мПа·с в контрольном варианте до 51 653 мПа·с при 25% эмульсии свидетельствует о более легком перераспределении компонентов, что может способствовать равномерной тепловой обработке и улучшению текстурных характеристик готового продукта.

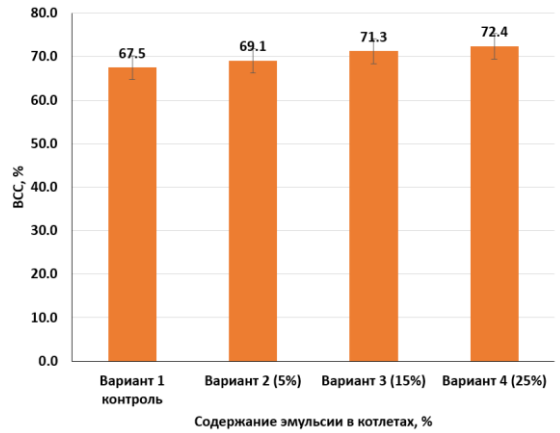


Рисунок 3 – Изменение влагосвязывающей способности котлетной массы в зависимости от содержания эмульсии

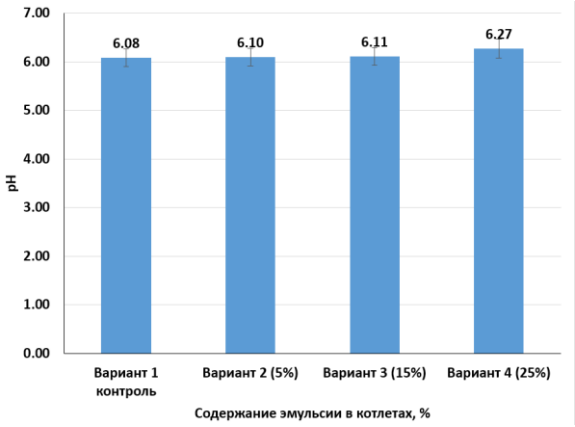


Рисунок 4 – Изменение pH котлетной массы в зависимости от содержания эмульсии

Аналогичная тенденция отмечена и по напряжению сдвига – уменьшение от 66 845 мПа до 45 455 мПа подтверждает снижение сопротивления деформациям массы, что связано с нарушением традиционной мясной структуры. Повышение влагосвязывающей способности фарша с 67,50% до 72,40% указывает на улучшение удержания влаги благодаря белково-полисахаридной матрице эмульсии, что потенциально ведёт к повышению сочности котлет. Незначительное увеличение pH с 6,08 до 6,27 может быть обусловлено добавлением компонентов эмульсии с слабо щелочным характером, оставаясь при этом в пределах, обеспечивающих микробиологическую безопасность и приемлемость по органолептическим показателям. Эти результаты демонстрируют, что введение эмульсии оказывает комплексное влияние на физико-химические свойства котлетной массы, улучшая её технологические и качественные характеристики.

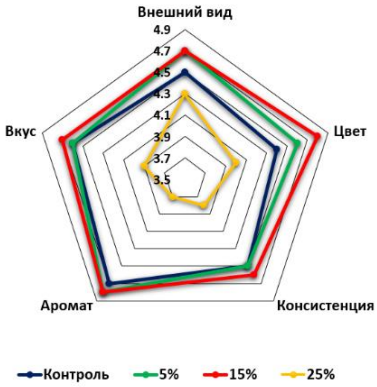
Исследование органолептических показателей

Органолептический анализ котлет показал, что оптимальные показатели продемонстрировал вариант с 15% добавлением белково-жировой эмульсии. В сравнении с контрольным образцом и другими вариантами, образец с 15% эмульсией получил наивысшие оценки по цвету (4,8), консистенции (4,6), аромату (4,8) и вкусу (4,7), суммарный балл которого составил 23,6 (табл. 4).

Таблица 4 – Органолептические показатели котлет

Показатель	Вариант 1 (Контроль)	Вариант 2 (5%)	Вариант 3 (15%)	Вариант 4 (25%)
Внешний вид	4.5	4.7	4.7	4.3
Цвет	4.4	4.6	4.8	4
Консистенция	4.5	4.5	4.6	3.8
Аромат	4.7	4.8	4.8	3.7
Вкус	4.6	4.6	4.7	3.9
ИТОГО (балл)	22.7	23.2	23.6	19.7

Дегустационная комиссия отметила следующие характеристики котлет с добавлением 15% эмульсии (рис. 5).



а) диаграмма оценки

б) Внешний вид бургеров

Рисунок 5 – Органолептический анализ бургеров

Внешний вид: поверхность котлет ровная, гладкая, без трещин и деформаций. Форма округлая, соответствующая рецептуре для бургеров.

Вид на разрезе: структура однородная, без пустот, сухожилий или комков. Лук и эмульсия равномерно распределены. После приготовления – консистенция сочная, но не рыхлая.

Цвет: поверхность золотисто-коричневая, на разрезе – серый или серо-коричневый.

Вкус: приятный, выраженный, характерный для жареного говяжьего мяса, с оттенками лука, перца.

Запах: выраженный, приятный, свойственный жареному мясу, с ароматами лука, перца.

Эти показатели указывают на улучшенное восприятие продукта с точки зрения внешнего вида, текстуры и вкусовых качеств. Варианты с меньшим (5%) и большим (25%) содержанием эмульсии получили несколько худшие органолептические результаты, что подтверждает, что оптимальное соотношение компонентов котлетной массы достигается при 15% эмульсии. Это свидетельствует о том, что внедрение белково-жировой эмульсии в указанной концентрации способствует улучшению связующих свойств, удержанию влаги и формированию более привлекательной текстуры, что положительно сказывается на ароматических и вкусовых характеристиках готового продукта.

Исследование микробиологических показателей

Микробиологический анализ котлет с 15% эмульсией продемонстрировал показатели, полностью соответствующие нормативным требованиям ГОСТ, что подтверждает безопасность продукта для потребления. Общее количество аэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) составило менее 10^2 КОЕ/г, что значительно ниже допустимого предела в 1×10^3 КОЕ/г (табл. 5). Показатели для биогенных микроорганизмов (БГКП), *Staphylococcus aureus* и *Proteus* были не обнаружены в исследуемых образцах, что указывает на отсутствие патогенных микроорганизмов. Кроме того, уровень плесневых грибов составил менее 10 КОЕ/см³, что удовлетворяет норме, не превышающей 50 КОЕ/см³. Эти результаты свидетельствуют о том, что технология производства с использованием 15% эмульсии обеспечивает микробиологическую безопасность котлет, минимизируя риск бактериального загрязнения и подтверждая их пригодность для дальнейшего потребления.

Таблица 5 – Микробилогические показатели котлет

Микробилогические показатели	НД на метод испытания	Нормируемый показатель	Результаты иследования
КМАФАнМ КОЕ/г, не более	ГОСТ 10444.15-94	$1*10^3$	Менее 10^2 КОЕ/г
БГКП	ГОСТ30518-97	Не допускается 1,0 г	Не обнаружены в 1,0 г
Патогенные в т.ч сальмонеллы	ГОСТ 31659 (ISO 6579)	Не допускается 25 г	Не обнаружены в 25 г
S.aures	ГОСТ 10444.2-94	Не допускается 1,0 г	Не обнаружены в 1,0 г
Proteus	ГОСТ 26670	Не допускается 0,1 г	Не обнаружены в 0,1 г
Плесени, КОЕ $см^3$(г), не более	ГОСТ 10444.12.	50	Менее 10

Готовые бургеры рекомендуется хранить при температуре от 0 °С до +4 °С в холодильных условиях. При соблюдении температурного режима срок безопасного хранения составляет не более 24 часов с момента приготовления.

Заключение

В результате проведенного исследования была разработана и оптимизирована технология производства котлет для бургеров с использованием белково-жировой эмульсии. Химический анализ сырых котлет продемонстрировал положительное влияние добавления эмульсии на состав продукта: увеличение содержания белка, золы и углеводов при одновременном снижении жировой и влаго-содержащей фаз. Физико-химические характеристики, такие как динамическая вязкость и напряжение сдвига, показывали тенденцию к снижению с ростом содержания эмульсии, в то время как влагосвязывающая способность фарша улучшалась, что положительно сказывалось на текстуре готового изделия. Органолептический анализ выявил, что вариант с 15% эмульсией обладает наилучшими характеристиками по цвету, консистенции, аромату и вкусу, что подтверждает его оптимальность для производства. Микробиологический контроль продемонстрировал безопасность котлет с 15% эмульсией, соответствие нормативным требованиям и отсутствие патогенных микроорганизмов. В целом, полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования белково-жировой эмульсии в составе котлет для бургеров для повышения их питательной ценности, улучшения текстурных характеристик и обеспечения микробиологической безопасности.

Список литературы

1. Иванкин А.Н. Жиры в составе современных мясных продуктов // Мясная индустрия. – 2007. – № 6. – С. 8-15.
2. Cîrstea N. Effects of Pork Backfat Replacement with Emulsion Gels Formulated with a Mixture of Olive, Chia and Algae Oils on the Quality Attributes of Pork Patties / N. Cîrstea, V. Nour, A.I. Boruzi // Foods. – 2023. – Vol. 12, № 3. – P. 519. https://doi.org/10.3390/foods12030519.
3. Application of Emulsion Gels as Fat Substitutes in Meat Products / Y.Ren et al // Foods. – 2022. – Vol. 11, № 13. – P. 1950. https://doi.org/10.3390/foods11131950.
4. Effects of Animal Fat Replacement by Emulsified Melon and Pumpkin Seed Oils in Deer Burgers / E. Martínez et al // Foods. – 2023. – Vol. 12, № 6. – P. 1279. https://doi.org/10.3390/foods12061279.
5. Physicochemical and sensory properties of plant-based meat patties using oil-in-water emulsion / J. Lee et al // Food Bioscience. – 2023. – Vol. 56. – P. 103084. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103084.
6. Healthy beef burgers: Effect of animal fat replacement by algal and wheat germ oil emulsions / J.C. Barros et al // Meat Science. – 2021. – Vol. 173. – P. 108396. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108396.
7. Санников П.В. Разработка белково-жировой эмульсии на основе льняной муки / П.В. Санников, Г.В. Гуринович, Л.С. Кудряшов // Мясная индустрия. – 2021. – № 7. – С. 20-23.
8. Широкова Н.В. Разработка технологии комбинированного функционального мясного продукта / Н.В. Широкова, П.С. Кобыляцкий, Т.В. Демьянова // Научная жизнь. – 2019. – Т. 14, № 12. – С. 1910-1916.
9. Сухарева Т.Н. Разработка технологии мясных полуфабрикатов с растительным сырьем для профилактического питания / Т.Н. Сухарева, Ю.С. Манаенкова // Наука и Образование. – 2020. – Т. 3, № 2.
10. Воронина Э.В. Современные тренды на мировом гастрономическом рынке / Э.В. Воронина, С.К. Полуянов // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании. – 2020. – С. 21-25.
11. Антипова Л.В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / под ред. И.А. Рогова. – Москва: Колос, 2001. – 376 с.
12. Патент 28152, Республика Казахстан, МПК G 01 N 33/02. Способ определения водосвязывающей способности пищевых продуктов / Кабулов Б.Б., Какимов А. К., Есимбеков Ж.С., Ибрагимов Н.К.; заявитель и патентообладатель Кабулов Б.Б., Есимбеков Ж.С. – № 2011/0015.1; заявл. 11.01.2011; опубл. 17.02.2014, Бюл. № 2. – 4 с.

13. СТ РК ИСО 2917-2009. Мясо и мясные продукты. Определение pH. Контрольный метод. – Введ. с 2010.07.01. – Астана: Госстандарт Республики Казахстан, 2010. – 16 с.
14. Забегалова Г.Н. Изучение особенностей применения казеината натрия для нормализации молочной смеси по белку при производстве сыров / Г.Н. Забегалова, А.Л. Новокшанова // Передовые достижения науки в молочной отрасли. – 2022. – С. 73-78.
15. Стригулина Е.В. Использование овощных порошков в изготовлении куриных биточков / Е.В. Стригулина, М.А. Крепких // Наука молодых-наука будущего. – 2023. – С. 14-22.
16. Юсифова М.Р. Функциональные свойства подсолнечного масла для специализированной еды / М.Р. Юсифова // Каспий в цифровую эпоху. – 2021. – С. 338-341.
17. Функциональные свойства пищевых волокон, полученных из продуктов переработки овощей / Р.А. Дроздов и др. // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2019. – № S9. – С. 50-61.

Reference

1. Ivankin A.N. Zhiry v sostave sovremennykh myasnykh produktov // Myasnaya industriya. – 2007. – № 6. – S. 8-15. (In Russian).
2. Cîrstea N. Effects of Pork Backfat Replacement with Emulsion Gels Formulated with a Mixture of Olive, Chia and Algae Oils on the Quality Attributes of Pork Patties / N. Cîrstea, V. Nour, A.I. Boruzi // Foods. – 2023. – Vol. 12, № 3. – P. 519. https://doi.org/10.3390/foods12030519. (In English).
3. Application of Emulsion Gels as Fat Substitutes in Meat Products / Y.Ren et al // Foods. – 2022. – Vol. 11, № 13. – P. 1950. https://doi.org/10.3390/foods11131950. (In English).
4. Effects of Animal Fat Replacement by Emulsified Melon and Pumpkin Seed Oils in Deer Burgers / E. Martínez et al // Foods. – 2023. – Vol. 12, № 6. – P. 1279. https://doi.org/10.3390/foods12061279. (In English).
5. Physicochemical and sensory properties of plant-based meat patties using oil-in-water emulsion / J. Lee et al // Food Bioscience. – 2023. – Vol. 56. – P. 103084. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103084. (In English).
6. Healthy beef burgers: Effect of animal fat replacement by algal and wheat germ oil emulsions / J.C. Barros et al // Meat Science. – 2021. – Vol. 173. – P. 108396. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108396. (In English).
7. Sannikov P.V. Razrabotka belkovo-zhirovoi ehmul'sii na osnove l'nyanoi muki / P.V. Sannikov, G.V. Gurinovich, L.S. Kudryashov // Myasnaya industriya. – 2021. – № 7. – S. 20-23. (In Russian).
8. Shirokova N.V. Razrabotka tekhnologii kombinirovannogo funktsional'nogo myasnogo produkta / N.V. Shirokova, P.S. Kobylyatskii, T.V. Dem'yanova // Nauchnaya zhizn'. – 2019. – T. 14, № 12. – S. 1910-1916. (In Russian).
9. Sukhareva T.N. Razrabotka tekhnologii myasnykh polufabrikatov s rastitel'nym syr'em dlya profilakticheskogo pitaniya / T.N. Sukhareva, YU.S. Manaenkova // Nauka i Obrazovanie. – 2020. – T. 3, № 2. (In Russian).
10. Voronina EH.V. Sovremennye trendy na mirovom gastronomicheskom rynke / EH.V. Voronina, S.K. Poluyanov // Innovatsionnye tekhnologii v pishchevoi promyshlennosti i obshchestvennom pitanii. – 2020. – S. 21-25. (In Russian).
11. Antipova L.V. Metody issledovaniya myasa i myasnykh produktov / pod red. I.A. Rogova. – Moskva: Kolos, 2001. – 376 s. (In Russian).
12. Patent 28152, Respublika Kazakhstan, MPK G 01 N 33/02. Sposob opredeleniya vodosvyazyvayushchei sposobnosti pishchevykh produktov / Kabulov B.B., Kakimov A. K., Esimbekov ZH.S., Ibragimov N.K.; zayavitel' i patentoobladatel' Kabulov B.B., Esimbekov ZH.S. – № 2011/0015.1; zayavl. 11.01.2011; opubl. 17.02.2014, Byul. № 2. – 4 s. (In Russian).
13. ST RK ISO 2917-2009. Myaso i myasnye produkty. Opredelenie RN. Kontrol'nyi metod. – Vved. s 2010.07.01. – Astana: Gosstandart Respubliki Kazakhstan, 2010. – 16 s. (In Russian).
14. Zabegalova G.N. Izuchenie osobennostei primeneniya kazeinata natriya dlya normalizatsii molochnoi smesi po belku pri proizvodstve syrov / G.N. Zabegalova, A.L. Novokshanova // Peredovye dostizheniya nauki v molochnoi otrasli. – 2022. – S. 73-78. (In Russian).
15. Strigulina E.V. Ispol'zovanie ovoshchnykh poroshkov v izgotovlenii kurinykh bitochkov / E.V. Strigulina, M.A. Krepkikh // Nauka molodykh-nauka budushchego. – 2023. – S. 14-22. (In Russian).
16. Yusifova M.R. Funktsional'nye svoistva podsolnechnogo masla dlya spetsializirovannoi edy / M.R. Yusifova // Kaspii v tsifrovuyu ehpokhu. – 2021. – S. 338-341. (In Russian).

17. Funktsional'nye svoistva pishchevykh volokon, poluchennykh iz produktov pererabotki ovoshchei / R.A. Drozdov i dr. // Ehlektronnyi setevoi politematicheskii zhurnal «Nauchnye trudy KuBGTU». – 2019. – № S9. – S. 50-61. (In Russian).

Э.К. Окусханова[*], Ж.М. Атамбаева[1], Ф.Х. Смольникова[1], М.Б. Ребезов[2]
[1]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Глинки көшесі 20 А
[2]Горбатов атындағы РҒА азық-түлік жүйелерінің Федералдық ғылыми орталығы, 109316, Ресей Федерациясы, Мәскеу қ., Талалихин к-сі, 26
*e-mail: eleonora-okushan@mail.ru

ӨСІМДІК-ЖАНУАР ТЕКТІ АҚУЫЗ-МАЙ ЭМУЛЬСИЯ ҚОСЫЛҒАН БУРГЕРГЕ АРНАЛҒАН КОТЛЕТТЕРДІ ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТАҒАМДЫҚ ҚҰНДЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ

Зерттеу өнімнің функционалдық және қоректік қасиеттерін жақсартуды қамтамасыз ететін өсімдік және жануарлар ингредиенттеріне негізделген 15% ақуыз-май эмульсиясын пайдаланып бургер пирогтарын өндіру технологиясын әзірлеу және оңтайландыруды қамтыды. Эмульсияны дайындау үшін натрий казеинаты, зығыр ұны, мұздатылған көкөністер және күнбағыс майы қолданылды, бұл тұрақты дисперсті жүйені құруға мүмкіндік берді. Химиялық талдау бақылау үлгісімен салыстырғанда жалпы май мен ылғалдың азаюымен бірге ақуыз мөлшерінің 18%-ға, көмірсулардың 267%-ға, күлдің 23%-ға артқанын көрсетті. Физико-химиялық сынақтар динамикалық тұтқырлық пен ығысу кернеуінің төмендеуін анықтады, ал тартылған еттің ылғалмен байланыстыру қабілеті 67,5%-дан 71,3%-ға дейін өсті, бұл суды ұстау қабілетінің жоғарылағанын және текстураның тұрақтылығының жақсарғанын көрсетеді. Органолептикалық талдау бақылау үлгісімен салыстырғанда түс, құрылым және дәм сипаттамалары бойынша жақсы нәтиже көрсетті. Микробиологиялық бақылау өнімнің қауіпсіздігіне кепілдік берді: патогенді микроорганизмдер анықталмады, микробтардың жалпы саны рұқсат етілген нормалардан айтарлықтай төмен болды. Әзірленген котлеттер ықтимал зиянды қаныққан май қышқылдарын тұтынуды азайтады, бұл тамақтанудың липидті профилін жақсартуға және жүрек-қан тамырлары ауруларының қаупін азайтуға көмектеседі.

Түйін сөздер: *эмульсия, котлет, бургер, қаныққан май қышқылдары, өсімдік майы.*

E.K. Okuskhanova[*], Z.M. Atambayeva[1], F.K. Smolnikova[1], M.B. Rebezov[2]
[1]Shakarym University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey city, Glinka street, 20 A
[2]V.M. Gorbatov Federal Research Center of Food Systems
of the Russian Academy of Sciences,
109316, Russian Federation, Moscow city, Talalikhin street, 26
*e-mail: eleonora-okushan@mail.ru

DEVELOPMENT OF PRODUCTION TECHNOLOGY AND EVALUATION OF NUTRITIONAL VALUE OF BURGER PATTIES USING A PROTEIN-FAT EMULSION

During the study, a technology was developed and optimized for the production of burger patties using a 15% protein-fat emulsion based on plant and animal ingredients, which provides improved functional and nutritional properties of the product. Sodium caseinate, flaxseed flour, freeze-dried vegetables, and sunflower oil were used to prepare the emulsion, which allowed for the formation of a stable dispersed system. Chemical analysis showed an increase in protein content by 18%, carbohydrates by 267%, and ash by 23%, with a simultaneous decrease in total fat and moisture compared to the control sample. Physicochemical tests revealed a decrease in dynamic viscosity and shear stress, while the moisture-binding capacity of the minced meat increased from 67.5% to 71.3%, indicating increased water retention capacity and improved texture stability. Organoleptic analysis showed better results in terms of color, texture, and taste characteristics compared to the control sample. Microbiological control ensured product safety: no pathogenic microorganisms were detected, and the total number of microbes was significantly below acceptable standards. The developed cutlets reduce the consumption of potentially harmful saturated fatty acids, which contributes to improving the lipid profile of nutrition and reducing the risk of cardiovascular diseases.

Key words: *emulsion, patties, burgers, saturated fatty acids, vegetable oil.*

Сведения об авторах

Элеонора Курметовна Окусханова* – ассоц. профессор, PhD, Шәкәрім университет, Республика Казахстан, г. Семей; e-mail: eleonora-okushan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5139-9291.

Бахыткуль Кажкеновна Асенова – кандидат технических наук, профессор кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университет, Республика Казахстан, г. Семей; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-8707-9725.

Нурай Тимуркызы Тимур – студент кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университет, Республика Казахстан, г. Семей; e-mail: timur.nurai04@mail.ru.

Жибек Манаповна Атамбаева – ст. преподаватель кафедры «Пищевая технология», Шәкәрім университет, Республика Казахстан, г. Семей; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7899-870X.

Максим Борисович Ребезов – доктор с/х наук, профессор Федерального научного центра пищевых систем имени В.М. Горбатова Российской Академии Наук, Россия; e-mail: rebezov@yandex.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0857-5143.

Авторлар туралы мәліметтер

Элеонора Құрметқызы Окусханова* – қауымдастырылған профессор, PhD, Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы; e-mail: eleonora-okushan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5139-9291.

Бахыткуль Кажкенқызы Асенова – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ технологиясы» кафедрасының профессоры; Шәкәрім университет, Қазақстан Республикасы; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-8707-9725.

Тимур Нұрай Тимурқызы – «Тамақ технология» кафедрасының студенті,Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: timur.nurai04@mail.ru.

Жибек Манаповна Атамбаева – «Тамақ технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7899-870X

Максим Борисович Ребезов – В.М. Горбатов атындағы Ресей Ғылым Академиясының Азық-түлік жүйелері жөніндегі федералды ғылыми орталығының ауыл шаруашылық ғылымдарының докторы, профессор, Ресей; e-mail: rebezov@yandex.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0857-5143.

Information about the authors

Eleonora Kurmetovna Okuskhanova* – Assoc. Professor, PhD, Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semey city, senior lecturer; e-mail: eleonora-okushan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5139-9291.

Bakhytkul Kazhkenovna Asenova – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Technology, Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-8707-9725.

Nuray Timurkyzy Timur – student, Department of Food Technology, Shakarim University, Republic of Kazakhstan, Semey; e-mail: timur.nurai04@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002- 8777-5313.

Zhibek Manapovna Atambayeva – Senior Lecturer of the Department of «Food Technology», Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: zh.atambayeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7899-870X.

Maksim Borisovich Rebezov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Russia; e-mail: rebezov@yandex.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0857-5143.

Поступила в редакцию 02.06.2025
Поступила после доработки 11.08.2025
Принята к публикации 12.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-47

ҒТАХР: 65.59.91

BY 4.0
Check for updates

Г.Н. Нұрымхан*, Л.С. Бакирова, С.К. Касымов, Н.Р. Муслимова
Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки көшесі, 20 А
*e-mail: gulnu-n@mail.ru

ҚОСЫМША ЕТ ШИКІЗАТТАРЫНАН ӨНДІРІЛГЕН ШҰЖЫҚ ӨНІМІН ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ ТАМАҚ ҚАУІПСІЗДІГІН БАҒАЛАУ

Аңдатпа: *Тамақ өнеркәсібіндегі заманауи тенденциялар ресурстарды ұтымды пайдалануды және қалдықтарды азайтуды қамтамасыз ететін тұрақты технологияларды әзірлеуге бағытталып келеді. Перспективалы бағыттардың бірі азық-түлік өндірісінде екіншілік қосымша ет шикізатын пайдалану болып табылады. Бұл мақаладағы зерттеудің мақсаты – қосымша шикізатты (бауыр, жүрек, өкпе) қолдана отырып, қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің рецептурасын құру, сондай-ақ оның тамақ қауіпсіздігі көрсеткіштерін санитарлық заңнаманың талаптарына және тұрақты тамақ жүйелерінің принциптеріне сәйкес бағалау. Қосымша шикізаттан шұжық өнімін дайындау тұтынушылардың тағамдық қажеттіліктері мен дәмдік қалауларын қанағаттандыруға, олардың сапалы және қауіпсіз өніммен қамтамасыз етілуіне, қоректік тағамның қолжетімділігі мен жеткіліктілігін арттыруға, сондай-ақ азық-түлік жүйелерінің тұрақтылығына ықпал етеді. Жүрек, өкпе, бауыр, бүйрек және ішекті пайдалану дайын өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығын арттыруға мүмкіндік береді, сонымен бірге оның құнын төмендетеді. Мақалада өнімнің физика-химиялық, микробиологиялық және органолептикалық көрсеткіштеріне талдау жүргізілді. Нәтижелер дайын өнімнің теңдестірілген химиялық құрамы бар екенін, қауіпсіздік ережелеріне сәйкес келетінін және функционалды тамақ өнімі ретінде қарастырылуы мүмкін екенін көрсетті. Қосымша шикізатты пайдалану ет өндірісінде қалдықсыз технология негізінде қосымша ет шикізаттарын тиімді пайдалану, тамақ қауіпсіздігін қамтамасыз ету, өндірістік қалдықтарды азайтуға және неғұрлым тұрақты тамақ жүйесін қалыптастыруға ықпал етеді.*

Түйін сөздер: *қосымша шикізат, тамақ қауіпсіздігі, тұрақты тамақ жүйелері, қайта өңдеу, қалдықсыз технология, тағамдық және биологиялық құндылық.*

Кіріспе

Абай облысының мал шаруашылығы қожалықтарында ет өндіру тұрақты дамуды көрсетеді және өңірдің агроөнеркәсіптік кешенінде маңызды рөл атқарады. Алайда, ет өңдеу саласының ағымдағы жай-күйінде қосымша шикізатты пайдалану жеткіліксіз деңгейде жүзеге асырылуда. Яғни, етті бастапқы өңдеуге баса назар аударады, ал қосымша шикізаттар қан, бауыр, жүрек, өкпе, бүйрек, іш майы және т.б. жиі талап етілмейді немесе кәдеге жаратылмай жойылады. Бұл әлеуетті экономикалық пайданы жоғалтуға ғана емес, сонымен қатар шикізат ресурстарын тиімсіз пайдалануға әкеледі. Қосымша шикізатты ұтымды және кешенді пайдалану ет өнімдерінің желісін (қаннан жасалған шұжық, ливер шұжығы, паштет, ет наны және т.б.) едәуір кеңейтуге, сондай-ақ өндірістің рентабельділігін арттыруға және қоршаған ортаға экологиялық жүктемені азайтуға мүмкіндік береді.

Қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімі дәстүрлі түрде ет өнімдерінің тобына жатады және олардың қол жетімділігі, жоғары тағамдық және биологиялық құндылығы арқасында халықтың тағамдық құрылымын оңтайландыруда ерекше орын алады. Олар толық ақуыздардың, В дәрумендерінің, макро - және микроэлементтердің көзі болып табылады, бұл оларды теңдестірілген тамақтанудың маңызды құрамдас бөлігі етеді. Сонымен қатар, қосымша шикізаттардң тез бұзылатын қасиеттерін ескере отырып, дайын өнімнің микробиологиялық және химиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге байланысты бірқатар өзекті міндеттер сақталады [1]. Органолептикалық көрсеткіштерді арттыру және ассортиментті кеңейту маңызды бағыт болып табылады, бұл нарықта тұтынушылық тартымдылық пен бәсекеге қабілеттіліктің өсуіне ықпал етеді. Бұл мәселелерді шешу инновациялық технологиялық тәсілдерді енгізуді, қайталама шикізатты ұтымды пайдалануды және сапаны бақылаудың заманауи әдістерін қолдануды талап етеді [2].

Бұл жұмыстың негізгі мақсаты – қосымша шикізаттарды пайдалана отырып, шұжық өнімінің рецептурасын әзірлеу және оның тағамдық, биологиялық және энергетикалық құндылығын, сондай-ақ тұрақты тамақ жүйелерін қалыптастыру жағдайында микробиологиялық және химиялық қауіпсіздігін кешенді бағалау. Осы мақсатқа қол жеткізу шеңберінде: қосымша шикізаттарды (жүрек, бауыр, өкпе, бүйрек, ішек) ұтымды пайдалануды ескере отырып, құрамды оңтайландыру, органолептикалық көрсеткіштерге қосымша шикізаттың әсерін зерттеу, негізгі қоректік заттар мен биологиялық белсенді заттардың деңгейін анықтау, сондай-ақ дайын өнімнің қолданыстағы қауіпсіздік пен сапа талаптарына сәйкестігін анықтау көзделеді [3].

Зерттеудің ғылыми жаңалығы тұрақты тамақ жүйелері контекстінде қосымша ет шикізатын қолдана отырып, шұжықтың рецептурасын жасау, сонымен қатар, дайын өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығын, минералдық құрамын, технологиялық қасиеттерін зерттеу арқылы алынған өнімнің денсаулыққа пайдалы, қауіпсіз және тұтынуға жарамды екенін ғылыми негіздеу.

Еліміздің азаматтарының барлық санаттары жоғары сапалы тамақ өнімдеріне минималды қажеттіліктерді қамтамасыз ете алмайды. Азық-түлікті жеткіліксіз тұтынумен қатар, олардың маңызды тағамдық заттар бойынша теңгерімсіздігі орын алады. Қазіргі уақытта өзекті міндет отандық шикізаттан төмен құны бар жоғары сапалы тамақ өнімдерін алу технологияларын әзірлеу болып табылады. Халықтың тез өсуіне, әртүрлі тамақ өнімдерін өндірудің және өңдеудің жеткіліксіздігіне байланысты жер шарында жедел ақуыз тапшылығы сезіледі. Өнімдердің ақуыз тапшылығын толтырудың бір жолы – қалдықсыз технологияларды енгізу, өндірістік шығындарды жою, тамақ өнімдерін өндіру үшін қоректік заттарға бай, зиянсыз, әртүрлі өңдеу түрлеріне оңай жауап беретін қайталама шикізатты тарту арқылы шикізат ресурстарын пайдалануды жақсарту [4].

Зерттеу шарттары мен әдістері

Зерттеу нысаны ретінде таңдалған қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімі әртүрлі аналитикалық әдістерді қолдану арқылы жан-жақты зерттелді. Оны өндіруге арналған шикізат қолданыстағы нормативтік-техникалық құжаттардың талаптарына сәйкес қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің физика-химиялық құрамы МЕСТ Р 54646-2011 талаптарына және өнімінің микробиологиялық көрсеткіштері МЕСТ 10444.15-94, МЕСТ 31747-2012, МЕСТ 51659-2012, МЕСТ 32031-2012 талаптарына сәйкес зерттеу жүргізілді. Сонымен қатар, **өнімінің** токсиндік элементтер мен радинуклидтер көрсеткіштері МЕСТ 30178-86, МЕСТ 26930-86, МЕСТ 32161-2013 талаптарына сай зерттелді. Бұл зерттелген көрсеткіштердің әрқайсысы өнім туралы объективті мәліметтер алуға мүмкіндік берді. Барлық эксперименттер өлшеулердің дәлдігі мен дұрыстығын қамтамасыз ететін заманауи жабдықтармен жабдықталған мамандандырылған ғылыми зертханаларда жүргізілді.

Зерттеу барысында шикізат пен дайын өнімнің функционалдық-технологиялық қасиеттері, оның ішінде ылғал ұстау қабілеті, эмульгациялық қасиеттері, құрылымдық-механикалық сипаттамалары және органолептикалық көрсеткіштері жан-жақты талданды. Дайын өнім үлгілерінің сапасы зертханалық сынақтардың нәтижелерімен расталды, олар зерттелетін параметрлердің нормативтік-техникалық құжаттама талаптарына сәйкестігін көрсетті, бұл қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің қауіпсіздігі мен жоғары тағамдық құндылығын көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері

Қосымша шикізатты тиімді пайдалану мақсатында тауарлық қасиеті жоғары шұжық өнімінің рецептурасы мен технологиясын жетілдіру үшін ет өнімдері рецептураларындағы ингредиенттердің ең оңтайлы арақатынасы анықталды. Ұсынылып отырған қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің рецептурасы Кесте 1 келтірілген.

Булгур және ірі қара малдың қаны (ұнтақ түрінде) қосылған жаңа үлгідегі қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің компоненттік құрамын оңтайлы таңдау мақсатында 2 түрлі рецептура нұсқасы МЕСТ Р 54646-2011 бойынша өндірілген «Новомосковская» ливер шұжығының бақылау нұсқасымен салыстырылып зерттелді.

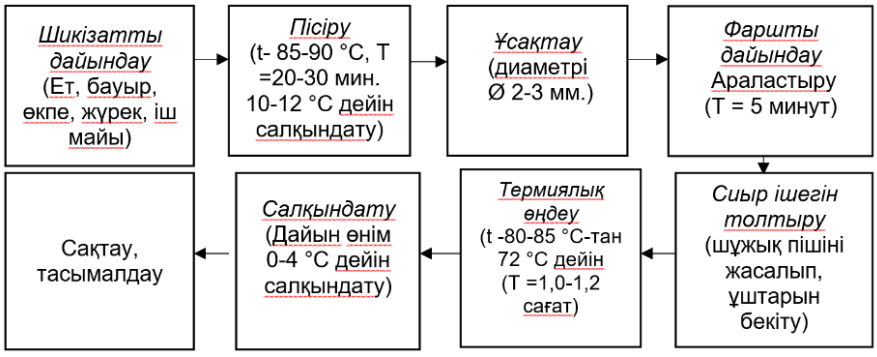
Зерттеу нәтижесінде бақылау үлгісі мен тәжірибелік сынама үлгілерінің рецептуралық құрамы салыстырылды. Бақылау үлгісінде сиыр еті мен ірі қара қаны қолданылмаған, ал сынама үлгілерінде олардың енгізілуі өнімнің ақуыздық құрамы мен функционалдық қасиеттерін арттыруға бағытталғанын көрсетеді.

Кесте 1 – Қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің рецептурасы

№	Шикізаттың аталуы	Шикізат шығынының нормасы, кг		
		Бақылау үлгісі	1 нұсқа	2 нұсқа
1	Сиыр еті	0	5,0	5,0
	Бауыр	15,0	10,0	10,0
2	Екінші санаттағы қосалқы өнімдер (сиыр етінен, қой етінен басқа)	82,0	62,0	58,0
3	Ірі қара малдың қаны (ұнтақ түрінде)	0	3,0	3,0
4	Құрғақ сүт	3,0	0	0
5	Булгур	0	6,0	10,0
6	Ет сорпасы	2,0	2,0	2,0
7	Дәмдеуіштер	2,31	0,5	0,5
8	Туралған пияз	10	10	10
9	Қара бұрыш ұнтағы	0,5	0,5	0,5
10	Ас тұзы	0,5	0,5	0,5
11	Сарымсақ	0,5	0,5	0,5

Сонымен қатар, сынама үлгілерінде бауыр мен екіншілік санаттағы қосалқы өнімдердің мөлшері айтарлықтай азайтылған, бұл шұжық өнімінің органолептикалық және тағамдық сапасын жақсартуға ықпал етеді. Құрғақ сүт бақылау үлгісінде қолданылса, сынама үлгілерінде ол толық алынып тасталды. Есесіне, сынамаларда жаңа қосымша ингредиент ретінде булгур енгізіліп, оның мөлшері 6-10 кг аралығында болды. Бұл қоспа өнімнің құрылымдық тұрақтылығын арттыруға және тағамдық құндылығын көтеруге мүмкіндік береді. Алынған мәліметтерді талдау, тартылған етке булгур қосудың бақылау үлгісімен салыстырғанда технологиялық қасиеттерінің статистикалық маңызды өзгерістеріне әкелетінін көрсетті. Атап айтқанда, центрифугалау әдісімен өлшенген тартылған еттің ылғал ұстау қабілетінің 12%-ға (6% булгур қосқанда) жоғарылауы және пенетрометрдің көмегімен қаттылық параметрі бойынша бағаланатын консистенциясының 8%-ға (10% булгур қосқанда) жақсарғаны байқалды. Бұл өзгерістер, атап айтқанда, суды ұстау қабілетінің артуы, дайын өнімнің сапасына, оның шырындылығын арттыруға, сонымен қатар өнім шығымына, термиялық өңдеу кезінде жоғалтуларды азайтуға оң әсер етуі мүмкін. Көрсеткіштердің жиынтығы бойынша ең жақсы нәтижелерге 10% булгурды пайдалану кезінде қол жеткізілді. Бұл өзгеріс шұжық массасының ылғалдылық деңгейін реттеу және өнімнің микробиологиялық тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін тиімді деп есептеледі. Дәмдік сапаны арттыру мақсатында сынама үлгілерінде дәмдеуіштердің мөлшері айтарлықтай көбейтілген.

Жалпы алғанда, тәжірибелік үлгілерде енгізілген өзгерістер өнімнің тағамдық құндылығын, құрылымдық-механикалық қасиеттерін және органолептикалық көрсеткіштерін жақсартуға бағытталғаны анықталды. Бұл бақылау үлгісіне қарағанда тұтынушылық тартымдылығы жоғары әрі сапалық деңгейі жетілдірілген шұжық өнімін алуға мүмкіндік береді. Қосымша ет шикізатынан өндірілген шұжық өнімін жасау технологиясы Сызба 1 көрсетілген.



Сызба 1 – Қосымша ет шикізатынан өндірілген шұжық өнімін жасау технологиясы

Шикізатты дайындау. Ет, бауыр, өкпе, жүрек, іш майы қолданылады. Олар жуылады, тазаланады, қажет болса жібітіледі және кесіледі. Судың температурасы, жібіту уақыты қажетінше.

Пісіру. Өкпе 85-90°С температурада 20-30 минут қайнатылады, содан кейін 10-12°С дейін салқындатылады.

Ұсақтау. Барлық ингредиенттер ет тартқышта ұнтақтақталады. Тор тесіктерінің диаметрі (Ø 2-3мм).

Тартылған етті дайындау. Алдын ала пісірілген булгур, ірі қара малдың қаны (ұнтақ түрінде) тұз, бұрыш, сарымсақ, дәмдеуіштер, сорпа немесе су қосылады. Тартылған ет мұқият араластырылады. Компоненттердің қатынасы рецепт бойынша.

Сиыр ішегін толтыру. Фаршты сиырдың ішегіне нығыздап салады, шұжықтар жасалынып, ұштары байланады.

Термиялық өңдеу. Бөлме температурасында 30-60 минут тұндыру. Шұжықтың ішінде 80-85°С-тан 72°С-қа дейінгі температурада пісіру (1-1,2 сағат).

Салқындату. Дайын шұжықтарды сақтау температурасына дейін (0-4°С) салқындату.

Ғылыми нәтижелерді талқылау

Булгур – талшықтарға, ақуызға, дәрумендер мен минералдарға бай пайдалы дәнді дақыл. Ол ас қорытуды жақсартады, холестерин мен қандағы қантты төмендетеді, қанықтырады, оңай сіңеді және ішекке пайдалы. Гликемиялық индексі төмен болғандықтан булгур салмақ жоғалтуға ықпал етуі мүмкін [5].

Ірі қара малдың қан ұнтағы толық ақуызға (90%-ға дейін) және гемдік темірге бай құнды қосалқы өнім болып табылады. Ол өнімдердің, әсіресе ет өнімдерінің тағамдық және биологиялық құндылығын арттырады, анемияның алдын алуға көмектеседі, өндіріс шығындарын азайтады және қалдықтарды азайтады [6].

Қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің химиялық құрамы Кесте 2 көрсетілген.

Кесте 2 – Қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің физика-химиялық құрамы, 100 грамм өнімдегі мөлшері

Көрсеткіштері	МЕСТ бойынша норма	Дайын өнім
Ылғалдың массалық үлесі, %	≤ 70,0	62,5 ± 0,8
Ақуыздың массалық үлесі, %	≥ 12,0	14,8 ± 0,6
Майдың массалық үлесі, %	≤ 25,0	18,2 ± 0,5
pH	5,8–6,5	6,2 ± 0,1

Бұл зерттеудің нәтижелері көрсеткендей, ақуыздың мөлшері – 14,8%, май – 18,2%, ылғал – 62,5% және pH – 6,2 құрады, бұл МЕСТ Р 54646-2011 талаптарына сәйкес келеді. Ақуыздың жоғары мөлшері өнімнің тағамдық құндылығын растайды [9].

Қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің микробиологиялық көрсеткіштері Кесте 3 көрсетілген.

Кесте 3 – Қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің микробиологиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштері	Нормативті құжаттар бойынша норма	Нақты нәтижелері	Зерттеу әдістеріне арналған нормативтік құжаттар
КМАФАнМ, КОЕ/г	$1x10^3$	$1,7x10^2$	МЕСТ 10444.15-94
БГКП (коли-форма) 1,0г өнімде	Рұқсат етілмейді	Табылған жоқ	МЕСТ 31747-2012
- патогенді, оның ішінде сальмонеллалар, 25 г өнімде	Рұқсат етілмейді	Табылған жоқ	МЕСТ 51659-2012
- L. monocytogenes, 25 г өнімде	Рұқсат етілмейді	Табылған жоқ	МЕСТ 32031-2012
Сульфитредуктивті клостридиялар, 1,0г өнімде	Рұқсат етілмейді	Табылған жоқ	МЕСТ 29185-2014

Мезофильді аэробты және факультативті анаэробты микроорганизмдердің (КМАФАнМ) санын анықтау $1,7×10^2$ КОЕ/г мәнін көрсетті, бұл белгіленген шектен $1×10^3$ КОЕ/г айтарлықтай төмен. Микробтық ластану деңгейінің төмен болуы шикізаттың жоғары санитарлық сапасы мен өндіріс кезінде технологиялық параметрлердің сақталуын көрсетеді.

Coli тобының бактериялары (БГКП). 1,0 г өнімді талдау кезінде коли тобының бактериялары анықталмады, бұл МЕСТ 31747-2012 талаптарына сәйкес келеді. БГКП болмауы тиісті санитарлық-гигиеналық өңдеуді көрсетеді және нәжістің ластану мүмкіндігін жоққа шығарады.

Патогендік микроорганизмдер. 25 г өнімде патогенді микроорганизмдердің, соның ішінде сальмонеллалардың бар-жоғын тексеру патогенді микроорганизмдердің анықталмағанын көрсетті. Бұл бактериялық патогендік микрофлора тұрғысынан өнімнің қауіпсіздігін растайды.

Listeria monocytogenes. 25 г сынақ үлгісінде Listeria monocytogenes анықталмады, ол МЕСТ 32031-2012 талаптарына сәйкес келеді. L. monocytogenes-тің қолайсыз жағдайларға жоғары төзімділігін ескере отырып, бұл нәтиже тағам өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін ерекше маңызға ие.

Сульфитті қалпына келтіретін клостридиялар. 0,1 г өнімді талдау кезінде сульфитті қалпына келтіретін клостридиялар анықталмады. Бұл клостридиямен байланысты улы инфекциялардың қаупін жояды және өнімнің дұрыс термиялық өңдеуін көрсетеді.

Барлық алынған көрсеткіштер ағымдағы нормативтік талаптарға сәйкес келеді және рұқсат етілген деңгейден айтарлықтай төмен. КМАФАнМ 10^3-10^4 КОЕ/г жетуі мүмкін және оппортунистік микрофлораны анықтау 5-10% жағдайда болатын ұқсас ет өнімдері бойынша әдебиетте ұсынылған деректерден айырмашылығы [6, 7], зерттелген шұжық өнімінің үлгісінде микробиологиялық қауіптер жоқ.

Жүргізілген микробиологиялық зерттеулер екіншілік ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімі үлгісінің микробиологиялық көрсеткіштері бойынша қауіпсіз екенін көрсетті. КМАФАнМ төмен деңгейімен біріктірілген патогендік микрофлораның, колиформды бактериялардың, L. monocytogenes болмауы өнімнің жоғары санитарлық сапасы мен нормативтік талаптарға сәйкестігін және өнімнің микробиологиялық қауіпсіздігін растайды [7].

Қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің тамақ қауіпсіздігін анықтау үшін дайын өнімге токсиндік элементтер және радинуклидтерге талдау жүргізілді. Зерттеу нәтижелері Кесте 4 көрсетілген.

Кесте 4 – Қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің токсиндік элементтер мен радинуклидтер көрсеткіштері

Көрсеткіштері	Нормативті құжаттар бойынша норма	Нақты нәтижелері	Зерттеу әдістеріне арналған нормативтік құжаттар
Токсиндік элементтер			
Қорғасын, мг/кг Мышьяк, мг/кг	0,6 1,0	0,0022±0,0003 табылған жоқ	МЕСТ 30178-86 МЕСТ 26930-86
Радинуклидтер			
Калий – 40, Бк/кг Цезий – 137, Бк/кг	 200	20±1 табылған жоқ	МЕСТ 32161-2013

Зерттелген үлгідегі қорғасын мен мышьяк құрамын талдау қорғасын деңгейінің 0,0022±0,0003 мг/кг құрайтынын көрсетті, бұл шекті рұқсат етілген концентрациядан 0,6 мг/кг, айтарлықтай төмен. Сынақ үлгісінде мышьяк анықталмады, ол да нормативтік құжаттаманың талаптарына сәйкес келеді (1,0 мг/кг, МЕСТ 26930-86). Алынған нәтижелер өнімді тұтыну кезінде осы элементтердің уытты әсер ету қаупінің жоқтығын көрсетеді.

Радионуклидтердің құрамы. Радионуклидтік құрамды өлшеу 20±1 Бк/кг деңгейінде калий-40 Бк/кг барын анықтады, бұл рұқсат етілген мәннен 200 Бк/кг, МЕСТ 32161-2013 айтарлықтай төмен. Сонымен қатар, Цезий-137 анықталмады, бұл техногендік радиоактивті ластанудың жоқтығын көрсетеді.

Алынған мәліметтерді қолданыстағы стандарттармен салыстыру зерттелетін үлгіде улы элементтер мен радионуклидтердің артық мөлшерінің жоқтығын көрсетті. Қорғасын мен калий-40 мөлшері қауіпсіз деңгейде, мышьяк пен цезий-137 анықталмады. Бұл химиялық және радиациялық көрсеткіштер бойынша өнім қауіпсіздігінің жоғары дәрежесін көрсетеді және оның санитарлық нормаларға сәйкестігін растайды. Осылайша, жүргізілген зерттеулер зерттелетін үлгінің улы элементтер мен радионуклидтер тұрғысынан қауіпсіз екенін көрсетті.

Алынған нәтижелер оның сапасын кешенді бағалау шеңберінде өнімнің экологиялық тазалығы мен қауіпсіздігін растау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің органолептикалық көрсеткіштері Кесте 5 көрсетілген.

Кесте 5 – Қосымша ет шикізаттарынан өндірілген шұжық өнімінің органолептикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштері	Сипаттамасы
Сыртқы түрі және кесу көрінісі	Қоңыр түсті және оның пішіні сиыр ішектерін пайдалану арқылы тартылған ет және кесілген кесектері дөңгелек тәрізді.
Дәмі мен иісі	Өнімнің өзіне тән дәмі басым, дәмдеуіштер және күріш жұмсақтық пен бейтараптықты қосып, қарқынды ет дәмін теңестіреді.

Сақтау мерзімі және сақтау шарттары: Дайын өнімді (+2°С-тан +6°С-қа дейін) салқындатылған жағдайда шамамен 72 сағат сақтауға болады. Мұздатылған өнімнің сақтау мерзімі -18°С температурада 3-4 айға дейін.

Дегустация нәтижелері бойынша өнім 5-тен 4,8 орташа балл алды, бұл оның жоғары тұтынушылық тартымдылығын растайды.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижелері қосымша ет шикізаттарын пайдалану арқылы шұжық өнімдерін өндірудің тиімді технологиясын әзірлеуге мүмкіндік берді. Ұсынылған рецептура өнімнің ақуыздық және биологиялық құндылығын арттыра отырып, оның органолептикалық көрсеткіштерін жақсартты. Булгурды қосу дайын өнімнің құрылымдық тұрақтылығын күшейтіп, ылғал ұстау қабілетін арттырды және шығымын жоғарылатты. Ірі қара малдың қаны өнімнің тағамдық құндылығын жақсартуға ықпал етті. Микробиологиялық зерттеулер сынамалардың санитарлық талаптарға толық сәйкес келетінін және патогенді микроорганизмдер анықталмағанын көрсетті. Химиялық талдау нәтижелері ауыр металдар мен радионуклидтердің мөлшері рұқсат етілген деңгейден төмен екенін дәлелдеді. Органолептикалық бағалау үлгілердің жоғары дәмдік тартымдылығын растады. Осылайша, екіншілік ет шикізатын ұтымды қолдану ет өңдеу өнеркәсібінде қалдықсыз технологияларды енгізуге, экологиялық тұрақтылықты арттыруға және халықты сапалы әрі қолжетімді өніммен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Қосымша шикізаттарды пайдалану ет өнімдерін ұтымды өңдеуге, қалдық көлемін азайтуға және өнім түрлерін көбейтуге мүмкіндік береді. Алынған өнім жоғары тағамдық құндылықты, қауіпсіздікті және жақсы органолептикалық сипаттамаларды біріктіреді, бұл оны тұрақты азық-түлік жүйелері тұжырымдамасы шеңберінде өндіріске енгізу үшін перспективалы етеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Development of innovative technology for processing secondary raw materials in the meat industry / I.A. Korotkiy et al // Nexo Revista Científica. – 2022. – № 35(03). – P. 759-770. https://doi.org/10.5377/nexo.v35i03.15005/
2. Development and use of compositions from products of deep processing of secondary meat raw materials / M.I. Kremenevskaya et al // Theory and practice of meat processing. – 2019. – № 4(2). – P. 20-26. https://doi.org/10.21323/2414-438X-2019-4-2-20-26.
3. Забашта Н.Н. Научные основы повышения эффективности производства пищевых продуктов из животного сырья: учебное пособие / Н.Н. Забашта, А.А. Нестеренко; Краснодар: КубГАУ, 2018. – 98 с.
4. Технологические основы переработки мяса: учебное пособие / И.Н. Миколайчик и др. – дурган: Курганская гос. с.-х. акад., 2016. – 120 с.
5. Технология первичной переработки продуктов животноводства: учебное пособие / Л.А. Морозова и др. – Екатеринбург: Уральский гос. аграр. ун-т, 2018. – 245 с.
6. Царегородцева Е.В. Физико-химические и биохимические свойства мяса и мясных продуктов: учебно-методическое пособие / Е.В. Царегородцева. – Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2015. – 98 с.
7. Петий И.А. Соотношения пищевых ингредиентов в рецептуре полуфабрикатов высокой степени готовности для здорового питания / И.А. Петий, Н.А. Притыкина // IV Международная научно техническая конференция «Новое в технологии и технике функциональных продуктов

питания на основе медико-биологических воззрений» (5-6 ноября 2014г.). – Воронеж. – 2014. – С. 481-485.
8. Слободяник В.С. Растительные ингредиенты как источники биологически активных веществ в рецептуре мясных полуфабрикатов / В.С. Слободяник, М.Е. Успенская // Ветеринарно-санитарные аспекты качества и безопасности сельскохозяйственной продукции, 2015. – 324 с.
9. ГОСТ Р 54646-2011 – Ливерные колбасы. Технические условия. Введ. 01.01.2013. – М.: Сатнадринформ, 2012. – 19 с.
10. ГОСТ 33673-2015 – Варёные колбасные изделия. Общие технические условия. Введ. 01.07.2017. – М.: Сатнадринформ, 2019. – 13 с.

References

1. Development of innovative technology for processing secondary raw materials in the meat industry / I.A. Korotkiy et al // Nexo Revista Científica. – 2022. – № 35(03). – R. 759-770. https://doi.org/10.5377/nexo.v35i03.15005/. (In English).
2. Development and use of compositions from products of deep processing of secondary meat raw materials / M.I. Kremenevskaya et al // Theory and practice of meat processing. – 2019. – № 4(2). – R. 20-26. https://doi.org/10.21323/2414-438X-2019-4-2-20-26. (In English).
3. Zabashta N.N. Nauchnye osnovy povysheniya ehffektivnosti proizvodstva pishchevykh produktov iz zhivotnogo syr'ya: uchebnoe posobie / N.N. Zabashta, A.A. Nesterenko. – Krasnodar: KuBGAU, 2018. – 98 s. (In Russian).
4. Tekhnologicheskie osnovy pererabotki myasa: uchebnoe posobie / I.N. Mikolaichik i dr. – Kurgan: Kurganskaya gos. s.-kh. akad., 2016. – 120 s. (In Russian).
5. Tekhnologiya pervichnoi pererabotki produktov zhivotnovodstva: uchebnoe posobie / L.A. Morozova i dr. – Ekaterinburg: Ural'skii gos. agrar. un-t, 2018. – 245 s. (In Russian).
6. Tsaregorodtseva E.V. Fiziko-khimicheskie i biokhimicheskie svoistva myasa i myasnykh produktov: uchebno-metodicheskoe posobie / E.V. Tsaregorodtseva. – Ioshkar-Ola: Mariiskii gos. un-t, 2015. – 98 s. (In Russian).
7. Petii I.A. Sootnosheniya pishchevykh ingredientov v retsepture polufabrikatov vysokoi stepeni gotovnosti dlya zdorovogo pitaniya / I.A. Petii, N.A. Pritykina // IV Mezhdunarodnaya nauchno tekhnicheskaya konferentsiya «Novoe v tekhnologii i tekhnike funktsional'nykh produktov pitaniya na osnove mediko-biologicheskikh vozzrenil» (5-6 noyabrya 2014g.). – Voronezh. – 2014. – S. 481-485. (In Russian).
8. Slobodyanik V.S. Rastitel'nye ingredienty kak istochniki biologicheski aktivnykh veshchestv v retsepture myasnykh polufabrikatov / V.S. Slobodyanik, M.E. Uspenskaya // Veterinarno-sanitarnye aspekty kachestva i bezopasnosti sel'skokhozyaistvennoi produktsii, 2015. – 324 s. (In Russian).
9. GOST R 54646-2011 – Livernye kolbasy. Tekhnicheskie usloviya. Vved. 01.01.2013. – M.: Satnadrinform, 2012. – 19 s. (In Russian).
10. GOST 33673-2015 – Varenye kolbasnye izdeliya. Obshchie tekhnicheskie usloviya. Vved. 01.07.2017. – M.: Satnadrinform, 2019. – 13 s. (In Russian).

Бұл мақалада Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитетінің гранттық қаржыландыруы аясында жүзеге асырылып ЖТН AP26198515 «Ет өндірісінде қалдықсыз технология негізінде қосымша ет шикізаттарын тиімді пайдалану, тамақтық қауіпсіздігін қамтамасыз ету және бизнес жоспарын құр» атты ғылыми жоба шеңберінде жүргізілген зерттеу нәтижелері ұсынылады.

Г.Н. Нұрымхан*, Л.С. Бакирова, С.К. Касымов, Н.Р. Муслимова
Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
*e-mail: gulnu-n@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ОЦЕНКА ПИЩЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВТОРИЧНОГО МЯСНОГО СЫРЬЯ

Современные тенденции в пищевой промышленности направлены на разработку устойчивых технологий, обеспечивающих рациональное использование ресурсов и сокращение отходов. Одним из перспективных направлений является использование вторичного

дополнительного мясного сырья в производстве продуктов питания. Целью исследования, представленного в данной статье, является разработка рецептуры колбасного изделия из вторичного сырья с использованием субпродуктов (печень, сердце, лёгкие), а также оценка его показателей пищевой безопасности в соответствии с требованиями санитарного законодательства и принципами устойчивых пищевых систем. Производство колбасных изделий из вторичного сырья способствует удовлетворению пищевых потребностей и вкусовых предпочтений потребителей, обеспечению их качественной и безопасной продукцией, повышению доступности и достаточности питательных продуктов, а также способствует устойчивости пищевых систем. Использование сердца, лёгких, печени, почек и кишечника в качестве дополнительного сырья позволяет повысить пищевую и биологическую ценность готовой продукции, одновременно снижая её себестоимость. В статье проведён анализ физико-химических, микробиологических и органолептических показателей продукта. Результаты показали, что готовое изделие имеет сбалансированный химический состав, соответствует требованиям безопасности и может рассматриваться как функциональный пищевой продукт. Использование вторичного сырья способствует эффективному использованию побочного мясного сырья на основе безотходных технологий, обеспечению пищевой безопасности, сокращению производственных отходов и формированию более устойчивой пищевой системы.

Ключевые слова: *вторичное сырьё, пищевая безопасность, устойчивые пищевые системы, переработка, безотходная технология, пищевая и биологическая ценность.*

G. Nurymkhan*, L. Bakirova, S. Kasymov, N. Muslimova
Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka Street, 20 A
*e-mail: gulnu-n@mail.ru

TECHNOLOGY OF PRODUCTION AND ASSESSMENT OF FOOD SAFETY OF SAUSAGE PRODUCTS FROM SECONDARY MEAT RAW MATERIALS

Modern trends in the food industry are aimed at developing sustainable technologies that ensure rational use of resources and waste reduction. One of the promising areas is the use of secondary additional meat raw materials in food production. The aim of the study presented in this article is to develop a recipe for a sausage product from additional meat raw materials using offal (liver, heart, lungs), as well as to assess its food safety indicators in accordance with the requirements of sanitary legislation and the principles of sustainable food systems. The production of sausages from secondary raw materials helps to meet the nutritional needs and taste preferences of consumers, provide them with high-quality and safe products, increase the availability and sufficiency of nutritious products, and contributes to the sustainability of food systems. The use of the heart, lungs, liver, kidneys and intestines as additional raw materials can increase the nutritional and biological value of the finished product, while reducing its cost. The article analyzes the physicochemical, microbiological and organoleptic indicators of the product. The results showed that the finished product has a balanced chemical composition, meets safety requirements and can be considered as a functional food product. The use of additional raw materials contributes to the efficient use of by-product meat raw materials based on waste-free technologies, ensuring food safety, reducing production waste and creating a more sustainable food system.

Key words: *secondary raw materials, food safety, sustainable food systems, processing, waste-free technology, food and biological value*

Авторлар туралы мәліметтер

Гулнур Несиптаевна Нурымхан* – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: gulnu-n@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Лайла Сапарбаевна Бакирова – 8D07202 «Тағам қауіпсіздігі» білім беру бағдарламасының докторанты, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: bakirova2010@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3474-4775.

Самат Кайратович Касымов – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: samat-kasymov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7384-6996.

Назерке Рахифовна Муслимова – «Тамақ технологиясы» кафедрасының докторанты, Шәкәрім университеті», Қазақстан; e-mail: muslimova.n.r@mail.ru. ORCID: https:// 0000-0003-2536-0590.

Сведения об авторах

Гулнур Несиптаевна Нурымхан* – кандидат технических наук, ассоц.профессор кафедры «Пищевых технологий», Шәкәрім университеті, Республика Казакстан; e-mail: gulnu-n@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Лайла Сапарбаевна Бакирова – докторант образовательной программы 8D07202 - «Пищевая безопасность», Шәкәрім университеті, Казахстан; e-mail: bakirova2010@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3474-4775.

Самат Кайратович Касымов – кандидат технических наук, ассоц.профессор кафедры «Пищевых технологий», Шәкәрім университеті, Республика Казакстан; e-mail: samat-kasymov@mail.ruю ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7384-6996.

Назерке Рахифовна Муслимова – докторант кафедры «Пищевых технологий», Шәкәрім университеті, Республика Казахстан; e-mail: muslimova.n.r@mail.ru. ORCID: https:// 0000-0003-2536-0590.

Information about the authors

Gulnur Nurymkhan – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technologies, Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: gulnu-n@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0955-3520.

Laila Bakirova – doctoral student of the educational program 8D07202 - «Food Safety», Shakarim University, Kazakhstan; e-mail: bakirova2010@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3474-4775.

Samat Kasymov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technologies, Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: samat-kasymov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7384-6996.

Nazerke Muslimova – doctoral student of the department of Food Technologies; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: muslimova.n.r@mail.ru. ORCID: https:// 0000-0003-2536-0590.

Редакцияға енуі 04.07.2025
Өңдеуден кейін түсуі 29.08.2025
Жариялауға қабылданды 08.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-48

CC BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 65.01.81

А.М. Муратбаев[1*], Г.А. Жумадилова[1], Б.А. Идырышев[1], М.М. Ташыбаева[1], А.К. Базанова[1]
Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки көш., 20 А
*e-mail: great_mister@mail.ru

СҮТҚЫШҚЫЛ ӨНІМІН БАЙЫТУ ҮШІН ДӘРІЛІК ӨСІМДІКТЕРДІҢ САПАСЫ МЕН ТАҒАМДЫҚ ҚАУІПСІЗДІГІН БАҒАЛАУ

Аңдатпа: *Мақалада сүтқышқыл өнімдерінде биологиялық белсенді қоспалар (ББҚ) ретінде пайдалану үшін дәрілік өсімдіктердің (күңгірт қызылкүрең (Echinácea purpúrea), маралшөп тамыры (Rhapónticum carthamoídes) және итмұрын (Rosa canina)) сапасы мен қауіпсіздігін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Жұмыстың мақсаты – өсімдік шикізатындағы биологиялық белсенді заттардың (полифенолдар, флавоноидтар, илік заттектер, танин және С витамині) мөлшерін бағалау, сонымен қатар олардың қауіпсіздігін растау үшін радионуклидтер деңгейі анықталды. Зерттеулер стандартты талдау әдістері арқылы жүргізілді. Нәтижелер зерттелетін өсімдіктерде биологиялық белсенді заттардың жоғары мөлшерде бар екенін көрсетті. Полифенолдар мен флавоноидтардың ең көп мөлшері итмұрында, ал илік заттектер – күңгірт қызылкүреңде анықталды. Сапониндер күңгірт қызылкүрең (4,1 мг/100 г) және маралшөп тамырында (5,6 мг/100 г) анықталды. Итмұрын құрамындағы С дәруменінің көрсеткіші анықталды (718,44±8,62 мг/100г). Барлық үлгілер радионуклидтердің нормативтік талаптарына сәйкес келді, бұл оларды тамақ өнеркәсібінде қолдануға жарамды етеді. Бұл, әсіресе, қоршаған ортаның ластануы азық-түлік шикізатының сапасына әсер етуі мүмкін Абай облысы сияқты қолайсыз экологиялық аймақтарға қатысты. Алынған деректер сүтқышқыл өнімдердің функционалдық қасиеттері мен тағамдық құндылығын арттыру мақсатында осы өсімдіктерді пайдаланудың болашағы зор екенін растайды. Зерттеу нәтижелері иммунитетті нығайтуға және аурулардың алдын алуға бағытталған функционалды тамақтанудың жаңа өнімдерін әзірлеуге пайдалы болуы мүмкін.*

Түйін сөздер: *сүт, сүтқышқыл өнім, биологиялық белсенді қоспалар, итмұрын, маралшөп тамыры, күңгірт қызылкүрең.*

Кіріспе

Абай облысында аурулардың, атап айтқанда онкологиялық аурулардың туындау қаупінің факторларының бірі қоршаған ортаның, тамақ шикізаты мен тамақ өнімдерінің радиоактивті элементтермен, ауыр металдармен ластануы болып табылады [1-4].

Осыған байланысты, иммуномодуляциялық әсері бар дәрілік өсімдіктер қолданылатын профилактикалық тамақ өнімдерін өндіруге ерекше назар аудару қажет. Себебі, онкологиялық ауруларды дәстүрлі емдеу әдістерінің (сәулелік және химиотерапия) жанама әсерін азайту үшін иммуномодуляциялық қасиеті бар дәрілік өсімдіктерден алынатын әртүрлі биологиялық белсенді қосымшаларды қолдану ұсынылады.

Аралас тағам өнімдері бірқатар ауруларды емдеуге және алдын алуға қолданыла алады, өйткені олар медикаменттік терапияға қосымша құрал ретінде әсер етеді. Өсімдік тектес өнімдердегі биологиялық белсенді компоненттер – витаминдер, макро- және микроэлементтер, тағамдық талшықтар сияқты әртүрлі кластағы қосылыстардан тұрады. Бұл компоненттер адам денсаулығы мен өмір сапасына оң әсерін тигізеді [5]. Ерекше назарды флавоноидтар тартады, олардың негізгі көздері – жемістер, жидектер, көкөністер. Олардың ішінде мыналарды атап өту керек: лимон, жаңа жидектенген клюква, қаражидек, долана, қызылқарақат, қарақарақат, таңқурай, итмұрын; құрғатылған орегано, грейпфрут, апельсин, артишок [6].

Сүт – сүтқышқыл өнімдерінің негізгі шикізаты ретінде табиғи биологиялық белсенді ингредиенттердің маңызды көзі болып табылады. Ауыл шаруашылық малдарының сүті ақуыздар, майлар және көмірсуларды қамтиды, бұл оның тағамдық құндылығын анықтайды. Ал биологиялық құндылығы витаминдердің, макро- және микроэлементтердің, қанықпаған май қышқылдарының (ҚМҚ) және иммундық факторлардың деңгейімен сипатталады [7-8].

Сүттің рөліне қатысты дәстүрлі және қазіргі заманғы түсінік айтарлықтай кеңейіп, бұл аралас тағам өнімдерінің пайда болуына әкелді және адам денсаулығына рационалды тамақтанудың және нақты тағам компоненттерінің пайдалы әсері туралы ғылыми білімдердің артуына септігін тигізді [9-10].

Осы мақсатта өсімдік шикізаты сүт негізіндегі тағамдардың тағамдық және биологиялық құндылығын жақсартатын биологиялық белсенді қосылыстардың қолайлы көзі болып табылады. Дәрілік өсімдіктермен байытылған сүт негізіндегі аралас өнімдер сүт өнеркәсібінің перспективалы сегменті болып табылады: олар өсіп келе жатқан сұранысқа ие, иммунитетті арттырады және ағзадағы өмірлік маңызды қоректік заттардың балансын толықтыру мақсатында күнделікті тұтыну үшін маңызды.

Дәрілік өсімдіктер – бұл адам ағзасына емдік әсер ете алатын биологиялық белсенді заттар бар өсімдіктер. Дәрілік өсімдіктерді медициналық мақсатта пайдалану ұзақ тарихы бар және дәстүрлі медицинаның негізі болып табылады. Дәрілік өсімдіктерді әртүрлі аурулардың алдын алу, емдеу және денені жалпы нығайту үшін қолдануға болады. Әрбір өсімдікте алкалоидтар, флавоноидтар, таниндер, эфир майлары және басқалары сияқты арнайы белсенді қосылыстар бар, олар емдік қасиеттерін көрсетеді [11-12].

Дәрілік өсімдіктерден сығынды алу үшін дәрілік өсімдіктердің үш түрі қабылданды. Композиция құрамына: күңгірт қызылкүрең, маралшөп тамыры және итмұрын кірді. Дәрілік өсімдіктердің құрамын құру барлық өсімдіктердің, бірқатар ғалымдардың зерттеулері көрсеткендей, қолайсыз факторларға ұшыраған кезде адамның иммундық мәртебесін арттыратын биологиялық белсенді заттар бар екендігімен негізделген. Бұл заттарға флавоноидтар, алкалоидтар, таниндер, С дәрумені және т.б.

Күңгірт қызылкүреңнің танымалдығы биологиялық белсенді заттардың көптігімен және оның препараттарының кең спектрімен байланысты. Қазіргі уақытта өсімдіктер барлық дәрі-дәрмектердің 30%-дан астамын өндіру үшін қолданылады. Күңгірт қызылкүреңнің биологиялық және иммундық белсенділігінің жануарлар мен адам ағзасына әсерін бағалау үшін көптеген зерттеулер жүргізілді [13-14].

Иммундық жүйенің бұзылуының алдын алу үшін күңгірт қызылкүреңнің (Echinacea purpurea) негізделген препараттар белсенді қолданылады, өйткені ол ағзаның жұқпалы аурулардың қоздырғыштарына иммунитетіне оң әсер етеді, аллергиялық аурулардың көріністерін азайтады, күйіктердің, жаралар мен жаралардың тез жазылуына ықпал етеді [15].

Күңгірт қызылкүреңнің әртүрлі спиртты және спиртсыз – сулы сығындыларына негізделген препараттар дененің иммундық реактивтілігін қалпына келтіру және арттыру үшін қолданылады. Бұл препараттар фагоцитозды белсендіру, макрофагтардың бактерицидтік

белсенділігі мен цитоуыттылығын арттыру, антиденелер синтезін күшейту арқылы иммунитеттің жасушалық және гуморальдық реакцияларын ынталандырады [16].

Маралшөп тамыры негізіндегі дәрілер организмдегі энергия көздерінің – аденозинтрифосфор қышқылының, гликоген мен креатинфосфаттың синтезі мен жинақталуын қалыпқа келтіреді [17]. Маралшөп тамыры өсімдігі әдетте ұсақ ұнтақ түрінде қолданылады. Ол ащы дәммен, тұзды – шайырлы иіспен, өрмекші торлы талшықты қосындылармен, фитоэкдистероидтардың жоғары деңгейімен сипатталады. Экдистероидтардың концентрациясы басқа өсімдіктерге қарағанда 100 есеге дейін жоғары [18]. Маралшөп тамырының шағын дозалары ынталандырушы, қабынуға қарсы әсерге ие және ингибиторлық әсерге ие [19].

Итмұрын көмірсуларға, фенолдарға, флавоноидтарға, токоферолдарға, терпендерге, каротиноидтарға, май қышқылдарына, галактолипидтерге, витаминдерге, минералдарға және таниндерге бай [20-21]. Итмұрыннан шамамен 129 химиялық қосылыс бөлініп, анықталды. Бұл бай фитохимиялық құрам итмұрынға бірқатар фармакологиялық қасиеттер береді, соның ішінде қабынуға қарсы, антиоксидант, қатерлі ісікке қарсы, иммуномодуляциялық, кардиопротекторлық, қатерлі ісікке қарсы, диабетке қарсы, нейропротекторлық және бактерияға қарсы. Атап айтқанда, итмұрын ұнтағы мен сығындысы артритке емдік әсер ететіні хабарланды [22-23].

Биологиялық белсенді өсімдік қоспаларымен байытылған функционалды сүтқышқыл өнімдерін әзірлеу – тамақ өнеркәсібі үшін маңызды және өзекті міндет. Өндіріс технологияларында өсімдік шикізатын немесе оның компоненттерін пайдалану өнім ассортиментін әртараптандыруға ғана емес, сонымен қатар оны пайдалы биологиялық белсенді заттармен байытуға мүмкіндік береді.

Зерттеудің алғышарттары диссертациялық жұмыста жасалды [24] және бұл жұмыс жалғасы болып келеді.

Зерттеудің негізгі мақсаты – сүтқышқыл өніміне арналған биологиялық белсенді қосымша ретінде қолданылатын жергілікті дәрілік өсімдіктердің сапасы мен қауіпсіздігін бағалау.

Зерттеу әдістері

Эксперименттік зерттеулер «Шәкәрім университеті» КеАҚ, «Алматы технологиялық университеті» АҚ-ның «Тамақ қауіпсіздігі» ғылыми-зерттеу институты, Ресей Федерациясының Кемерово қаласындағы «Кемеров мемлекеттік университеті» «Биотехнология» ғылыми-зерттеу институты базасында жүргізілді.

Зерттеу нысандары ретінде таңдалды: күңгірт қызылкүрең, маралшөп тамыры және итмұрын. Сынамалар Абай және Шығыс Қазақстан облысында жиналды.

Негізгі әдістер:

Полифенолдардың құрамын анықтау (МЕСТ 55488-2013);

Флавоноидты қосылыстарды анықтау (МЕСТ 55312-2012);

Танин мен кофеиннің құрамын анықтау (МЕСТ 19885-74);

Улы элементтердің құрамын анықтау (МЕСТ 30178-96);

Радионуклидтерді анықтау (МЕСТ 32161-2013);

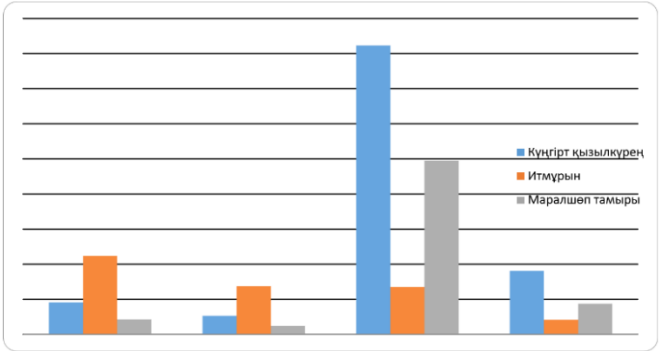
С витаминінің құрамын анықтау (МЕСТ 24556-89).

Зерттеу нәтижелері және ғылыми нәтижелерді талқылау

Иммунитетті қолдауда полифенолдар, флавоноидтар және таниндер маңызды рөл атқарады. Олар антиоксидантты, қабынуға қарсы және микробқа қарсы қасиеттерге ие, дененің қорғанысын нығайтуға көмектеседі. Дәрілік өсімдіктерді зерттеу 1-ші суретте көрсетілген.

Сурет 1 – Дәрілік өсімдіктер

2-ші суретке сәйкес физика-химиялық көрсеткіштері бойынша итмұрын полифенолдар, флавоноидтар құрамы бойынша алда, ал күңгірт қызылкүрең мен маралшөп тамыры илік заттар бойынша алды.



Сурет 2 –Дәрілік өсімдіктердің физика-химиялық көрсеткіштері

С дәрумені иммунитетті арттыруға жауап береді, өйткені ол лейкоциттердің түзілуіне ықпал етеді, жасушаларды тотығу стрессінен қорғайды және ағзаға инфекциялармен күресуге көмектеседі. 1-ші кестеде итмұрын құрамындағы С дәрумені көрсетілген.

Кесте 1 – Итмұрындағы С дәруменінің көрсеткіштері

Көрсеткіштердің атауы, мг/100 г	Нәтиже
Витамин: С	718,44±8,62

1-ші кестеге сәйкес итмұрындағы С дәруменінің көрсеткіші 718,44±8,62 мг/100г тең. Бұл көрсеткіш итмұрынның С дәруменінің негізгі көзі екенін дәлелдейді.

Сапониндер қабынуға қарсы, вирусқа қарсы, антиоксиданттық және иммуностимуляциялық қасиеттерді қоса алғанда, биологиялық белсенділіктің кең спектріне ие.

2-ші кестеге сәйкес сапониндер құрамы маралшөп тамырында және күңгірт қызылкүрең екеуінде анықталды. Маралшөп тамырында біраз көбірек болып келеді.

Кесте 2 – Сапониндер көрсеткіші

Көрсеткіштердің атауы, мг/100 г	Сапониндер
Күңгірт қызылкүрең	4,1
Маралшөп тамыры	5,6

Радионуклидтер-денсаулыққа ықтимал қауіп төндіретін тағамда, суда және қоршаған ортада жиналуы мүмкін радиоактивті элементтер. Радионуклидтер өнім қауіпсіздігінің маңызды көрсеткіші болып табылады. 3-ші кестеде радионуклидтердің құрамы көрсетілген.

Кесте 3 – Радионуклидтердің құрамы

Радионуклидтер, Бк-кг, көп емес	Нәтиже	ҚО ТР бойынша рұқсат етілген деңгейлер
Маралшөп тамыры		
Цезий	7,4	200
Стронций	10,9	100
Күңгірт қызылкүрең		
Цезий	7,9	200
Стронций	11,2	100

3-ші кестеге сәйкес, радионуклидтер құрамы ҚО ТР бойынша рұқсат етілген деңгейге сәйкес келеді.

Зерттеу нәтижелері күңгірт қызылкүрең, маралшөп тамыры және итмұрын сияқты дәрілік өсімдіктердің сүтқышқыл өнімдерін байыту үшін пайдаланылуы мүмкін биологиялық белсенді заттардың бай көздері екенін растайды. Зерттелетін өсімдіктердегі полифенолдардың, флавоноидтардың, таниндердің және С витаминінің жоғары мөлшері олардың антиоксидантты, иммуномодуляциялық және қабынуға қарсы әсерін қоса алғанда, денсаулыққа тигізетін пайдасын көрсетеді.

Полифенолдар мен флавоноидтардың ең көп мөлшерін көрсеткен итмұрын ерекше қызығушылық тудырады. Бұл қосылыстар тотығу стрессін төмендетуге және иммундық жүйені нығайтуға көмектесетін антиоксиданттық қасиеттерімен танымал. Күңгірт қызылкүрең өз кезегінде таниндердің жоғары құрамымен ерекшеленеді, бұл оны энергия алмасуын жақсартуға және дененің қолайсыз сыртқы факторларға төзімділігін арттыруға бағытталған өнімдерде қолдануға перспективалы етеді. Сапониндер құрамы бойынша маралшөп тамыры күңгірт қызылкүреңнен біраз көбрек болып келеді.

Зерттеудің маңызды аспектісі – бұл өсімдіктерді пайдалану қауіпсіздігін растау. Барлық үлгілер радионуклидтердің нормативтік талаптарына сәйкес келді, бұл оларды тамақ өнеркәсібінде қолдануға жарамды етеді. Бұл, әсіресе, қоршаған ортаның ластануы азық-түлік шикізатының сапасына әсер етуі мүмкін Абай облысы сияқты қолайсыз экологиялық аймақтарға қатысты.

Дәрілік өсімдіктерді сүтқышқыл өнімдерінде қолдану денсаулықты нығайтуға және аурудың алдын алуға ықпал ететін функционалды тағамдарды құрудың жаңа мүмкіндіктерін ашады. Дегенмен, мұндай өнімдерді әзірлеу кезінде жағымсыз жанама әсерлерді болдырмау үшін компоненттер арасындағы ықтимал өзара әрекеттесулерді, сондай-ақ дозаларды ескеру қажет.

Дәрілік өсімдіктермен сүтқышқыл өнімдерін өндіру бірнеше артықшылықтарды ұсынады:

1. Функционалдық құндылықты қосу: дәрілік өсімдіктерде денсаулыққа оң әсер етуі мүмкін биологиялық белсенді қосылыстар бар. Дәрілік өсімдіктерден алынған сығындыларды немесе қоспаларды сүтқышқыл өнімдеріне қосу оларға қосымша функционалдық қасиеттер беруге және олардың тағамдық құндылығын арттыруға мүмкіндік береді.

2. Таңдауды кеңейту: дәрілік өсімдіктермен сүтқышқыл өнімдерін ұсыну тұтынушыларға нарықта көбірек нұсқалар мен баламаларды ұсынады. Бұл белгілі бір қасиеттері немесе денсаулыққа қосымша пайдасы бар сүтқышқыл өнімдерін іздейтін әртүрлі адамдардың қажеттіліктерін қанағаттандыруға мүмкіндік береді.

3. Тағамдық құндылықты жақсарту: Дәрілік өсімдіктер дәрумендердің, минералдардың және антиоксиданттардың бай көзі бола алады. Оларды сүтқышқыл өнімдеріне қосу олардың тағамдық құрамын байыту арқылы тағамдық құндылығын жақсарта алады.

Әрі қарайғы зерттеулер рецептті оңтайландыруға, сүт және өсімдік компоненттері арасындағы синергетикалық әсерді зерттеуге, сондай-ақ мұндай өнімдердің ұзақ мерзімді перспективада адам денсаулығына әсерін бағалауға бағытталады. Бұл функционалды өнімдердің ассортиментін кеңейтіп қана қоймай, олардың денсаулықты нығайту мен аурулардың алдын алудағы тиімділігін арттырады.

Қорытынды. Дәрілік өсімдіктерді сүтқышқыл өнімдеріне қосу – тамақ өнеркәсібінің болашағы зор бағыты. Мұндай өнімдер адам денсаулығын нығайтуға және әртүрлі аурулардың алдын алуға септігін тигізе алады. Зерттеуге алынған күңгірт қызылкүрең, маралшөп тамыры және итмұрын өсімдіктері биологиялық белсенді заттардың жоғары мөлшерін көрсетті. Бұл заттар антиоксиданттық, иммундық жүйені реттеуші және қабынуға қарсы қасиеттерге ие. Ерекше назар итмұрынға аударылуы тиіс, себебі онда полифенолдар мен флавоноидтардың ең көп мөлшері анықталды.

Зерттеу нәтижелері осы өсімдік компоненттерінің қауіпсіз екенін растады, өйткені радионуклидтердің мөлшері нормативтік талаптарға сәйкес келеді. Бұл оларды тамақ өнеркәсібінде, әсіресе экологиялық жағдайы қолайсыз аймақтарда қолдануға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі:

1. Исследование степени накопления свойственных для Семейского региона Восточно-казахстанской области радиоактивных элементов и тяжелых металлов в сырье животного и растительного происхождения и разработка технологического способа понижения их содержания в процессе переработки исследуемого сырья: отчет о НИР (заключительный) / ГУ имени Шакарима города Семей: рук. Какимов А.К.; исполн.: Какимова Ж.Х. – Семей, 2014. – 130 с. – № ГР 0112РК00842.

2. Kakimov A. Experimental study of capsules formation using different types of polymers / A. Kakimov, Z. Kakimova, A. Muratbayev // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Vol. 14, № 10.

3. Kakimov A. Design of Equipment for Probiotics Encapsulation / A. Kakimov, A. Mayorov, A. Muratbayev // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). – 2019. – Vol. 8, Issue 4.
4. Developing haccp plan for a fermented milk drink with encapsulated biologically active supplements / A. Kakimov et al // Eurasian Journal of Biosciences. – 2020. – 14, № 1. P. 889-895.
5. John R. Functional Foods: Components, health benefits, challenges, and major projects / R. John, Singla Ankit // DRC Sustainable Future: Journal of Environment, Agriculture and Energy. – 2021. – Vol. 2, №1. – P. 61-72.
6. Beecher G.R. Overview of dietary flavonoids: Nomenclature, occurrence and intake / G.R. Beecher // The Journal of Nutrition. – 2003. – Vol. 133, № 10. – P. 3248-3254.
7. Galanakis C.M. Functionality of Food Components and Emerging Technologies / C.M. Galanakis // Foods. – 2021. – Vol. 10, № 1. – P. 128-153.
8. Functional dairy products enriched with plant ingredients / S. Sukhikh et al // Foods and Raw Materials. – 2019. – № 7(2). – P. 428-438. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-428-438.
9. Improving kefir bioactive properties by functional enrichment with plant and agro-food waste extracts / F. Aiello et al // Fermentation. – 2020. – № 6(3). – P. 83. https://doi.org/10.3390/FERMENTATION6030083.
10. Murano P.S. Phytochemicals and Phytonutrients in Understanding Food Science & Technology // Bemont: Wadsworth, 2003. – 449 p.
11. Камчатников А.Г. Оптимизация функциональной подготовленности спортсменов посредством биологически активных добавок: Монография / А.Г. Камчатников, Н.В. Серединцева, Н.Н. Сентябрев – Волгоград: ВГАФК, 2008. – с. 20
12. Ильюшенко Е.В. Инкапсулирование биологически активных веществ с использованием обратных микроэмульсий: автореф. ... к.х.н. – М.: Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева. – 2012. – 32 с.
13. Слободская Н.С. Биологически активные добавки: значение и применение / Н.С. Слободская // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2015. – № 4 (52). – С. 119-122. http://elibrary.ru/item.asp?id=25278494.
14. Парафармацевтики: учебное пособие / Е.А. Илларионова, И.П. Сыроватский; ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России, Кафедра фармацевтической и токсикологической химии. – Иркутск: ИГМУ, 2014. – 29 с.
15. Кушке Э.Э. Введение в культуру левзеи сафлоровидной // Лекарственные растения. – М.: Химия (ВИЛР), 1968. – Т. 11-12. – С. 99-110.
16. Сахарова Н.А. Онтогенез марального корня / Н.А. Сахарова // Проблемы основания лекарственных ресурсов Сибири и Дальнего Востока: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. – Новосибирск, 1983. – С. 61-63.
17. Справочник по лекарственным растениям / А.М. Задорожный, А.Г. Кошкин, С.Я. Соколов и др. – 2-е шд, – М.: Экология, 1992. – С. 67-70.
18. Nutritional Potential of Wild Edible Rose Hips in India for Food Security / A. Kumar et al // Wild Food Plants for Zero Hunger and Resilient Agriculture. Plant Life and Environment Dynamics. Springer, Singapore. – 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6502-9_7.
19. Phytochemistry, Traditional Uses and Pharmacological Profile of Rose Hip: A Review / Zahra Ayati et al // Emami. – 2018. – Vol. 24, Issue 35. https://doi.org/10.2174/1381612824666181010151849.
20. Phenolic Compounds of Rose Hips of Some Rosa Species and Their Hybrids Native Grown in the South-West of Slovenia during a Two-Year Period (2020–2021) / N. Kunc et al // Foods. – 2023. – № 12(10). – P. 1952. https://doi.org/10.3390/foods12101952.
21. Comparative Assessment of the Quality of Rose Hip Puree Produced by Different Technological Methods / O.V. Golub et al // Food Processing. – 2022. – № 52(2). – P. 310-320. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2365.
22. Капсулаланған биологиялық белсенді қоспаларды қолданып өндірілген, тамақ өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етудің тәжірибелік аспектілері: философия докторы (PhD) дәреж. алу үшін дайындал. дисс.: 6D073500 – тағам қауіпсіздігі / А.М. Муратбаев; Семей қаласының Шәкәрім атын. ун-ті... – Семей: [б. ж.], 2021. – 169 б.

References

1. Issledovanie stepeni nakopleniya svoistvennykh dlya Semeiskogo regiona Vostochno-kazakhstanskoi oblasti radioaktivnykh ehlementov i tyazhelykh metallov v syr'e zhivotnogo i rastitel'nogo proiskhozhdeniya i razrabotka tekhnologicheskogo sposoba ponizheniya ikh soderzhaniya v protsesse pererabotki issleduemogo syr'ya: otchet o NIR (zaklyuchitel'nyi) / GU imeni Shakarima goroda Semei: ruk. Kakimov A.K.; ispoln.: Kakimova ZH.KH. – Cemei, 2014. – 130 s. – № GR 0112RK00842. (In Russian).
2. Kakimov A. Experimental study of capsules formation using different types of polymers / A. Kakimov, Z. Kakimova, A. Muratbayev // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2019. – Vol. 14, № 10. (In English).
3. Kakimov A. Design of Equipment for Probiotics Encapsulation / A. Kakimov, A. Mayorov, A. Muratbayev // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). – 2019. – Vol. 8, Issue 4. (In English).
4. Developing haccp plan for a fermented milk drink with encapsulated biologically active supplements / A. Kakimov et al // Eurasian Journal of Biosciences. – 2020. – 14, № 1. R. 889-895. (In English).
5. John R. Functional Foods: Components, health benefits, challenges, and major projects / R. John, Singla Ankit // DRC Sustainable Future: Journal of Environment, Agriculture and Energy. – 2021. – Vol. 2, №1. – R. 61-72. (In English).
6. Beecher G.R. Overview of dietary flavonoids: Nomenclature, occurrence and intake / G.R. Beecher // The Journal of Nutrition. – 2003. – Vol. 133, № 10. – R. 3248-3254. (In English).
7. Galanakis C.M. Functionality of Food Components and Emerging Technologies / C.M. Galanakis // Foods. – 2021. – Vol. 10, № 1. – P. 128-153. (In English).
8. Functional dairy products enriched with plant ingredients / S. Sukhikh et al // Foods and Raw Materials. – 2019. – № 7(2). – R. 428-438. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-428-438. (In English).
9. Improving kefir bioactive properties by functional enrichment with plant and agro-food waste extracts / F. Aiello et al // Fermentation. – 2020. – № 6(3). – R. 83. https://doi.org/10.3390/FERMENTATION6030083. (In English).
10. Murano P.S. Phytochemicals and Phytonutrients in Understanding Food Science & Technology // Bemont: Wadsworth, 2003. – 449 p. (In English).
11. Kamchatnikov A.G. Optimizatsiya funktsional'noi podgotovlennosti sportsmenov posredstvom biologicheski aktivnykh dobavok: Monografiya / A.G. Kamchatnikov, N.V. Seredintseva, N.N.; Sentyabrev – Volgograd: VGAFK, 2008. – s. 20. (In Russian).
12. Il'yushenko E.V. Inkapculipovanie biologichecki aktivnykh veshchectv c icpol'zovaniem obpatnykh mikpoehmul'cii: avtopef. ... k.kh.n. – M. Rossiiskii khimiko-tekhnologicheskii universitet imeni D.I. Mendeleeva. – 2012. – 32 c. (In Russian).
13. Slobodskaya N.S. Biologicheski aktivnye dobavki: znachenie i primenenie // Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta. – 2015. – № 4 (52). – S. 119-122. http://elibrary.ru/item.asp?id=25278494. (In Russian).
14. Parafarmatsevtiki: uchebnoe posobie / E.A. Illarionova, I.P. Syrovatskii; GBOU VPO IGMU Minzdrava Rossii, Kafedra farmatsevticheskoi i toksikologicheskoi khimii. – Irkutsk: IGMU, 2014. – 29 s. (In Russian).
15. Kushke, EH.EH. Vvedenie v kul'turu levzei saflorovidnoi / EH.EH. Kushke // Lekarstvennye rasteniya. M.: Khimiya (VILR), 1968. – T. 11-12. – S. 99-110. (In Russian).
16. Sakharova, N.A. Ontogenez maral'ego kornya / N.A. Sakharova // Problemy osnovaniya lekarstvennykh resursov Sibiri i Dal'nego Vostoka: Tez. dokl. Vsesoyuz. nauch. konf. – Novosibirsk, 1983. – S. 61-63. (In Russian).
17. Spravochnik po lekarstvennym rasteniyam / A.M. Zadorozhnyi, A.G. Koshkin, S.YA. Sokolov i dr. – 2-e shd. – M.: Ehkologiya, 1992. – S. 67-70. (In Russian).
18. Nutritional Potential of Wild Edible Rose Hips in India for Food Security / A. Kumar et al // Wild Food Plants for Zero Hunger and Resilient Agriculture. Plant Life and Environment Dynamics. Springer, Singapore. – 2023. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6502-9_7. (In English).
19. Phytochemistry, Traditional Uses and Pharmacological Profile of Rose Hip: A Review / Zahra Ayati et al // Emami. – 2018. – Vol. 24, Issue 35. https://doi.org/10.2174/1381612824666181010151849. (In English).

20. Phenolic Compounds of Rose Hips of Some Rosa Species and Their Hybrids Native Grown in the South-West of Slovenia during a Two-Year Period (2020-2021) / N. Kunc et al // Foods. – 2023. – № 12(10). – R. 1952. https://doi.org/10.3390/foods12101952. (In English).
21. Comparative Assessment of the Quality of Rose Hip Puree Produced by Different Technological Methods / O.V. Golub et al // Food Processing. – 2022. – № 52(2). – R. 310-320. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2365. (In English).
22. Kapsulalanғan biologiyalyқ belsendi қospalardy қoldanyp өndirilgen, tamaқ өnimderinің қauipsizdigin қamtamasyz etudің tәzhiribelik aspektileri: filosofiya doktory (PhD) dәrezh. alu үshin daiyndal. diss.: 6D073500 – taғam қauipsizdigi / A.M. Muratbaev; Semei қalasynyң Shәkәrim atyn. un-ti... – Semei: [b. zh.], 2021. – 169 b. (In Kazakh).

Қаржыландыру туралы ақпарат: *Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (Грант № AP22686708, Капсулаланған биологиялық белсенді қоспалары бар сүт өнімдерінің тағамдық қауіпсіздігін бағалау және технологиясын әзірлеудің ғылыми-практикалық негіздері).*

А.М. Муратбаев*, Г.А. Жумадилова, Б.А. Идырышев, М.М. Ташыбаева, А.К. Базанова
Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
*e-mail: great_mister@mail.ru

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ПИЩЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

В статье представлены результаты исследования качества и безопасности лекарственных растений (эхинацеи пурпурной, левзеи сафлоровидной, шиповника) для использования в качестве биологически активных добавок (БАД) в кисломолочных продуктов. Целью работы была оценка содержания биологически активных веществ (полифенолов, флавоноидов, фенольных веществ, дубильных веществ и витамина С) в растительном сырье, а также определение уровня радионуклидов для подтверждения их безопасности. Исследования проводились с использованием стандартных аналитических методов. Результаты показали, что исследованные растения содержат большое количество биологически активных веществ. Наибольшее содержание полифенолов и флавоноидов обнаружено в плодах шиповника, а наибольшее содержание дубильных веществ – в эхинацеи. Сапонины были обнаружены в эхинацеи пурпурной и левзеи сафлоровидной. Все образцы соответствуют нормативным требованиям по радионуклидам, что делает их пригодными для использования в пищевой промышленности. Особенно это актуально для экологически неблагоприятных регионов, таких как Абайский район, где загрязнение окружающей среды может повлиять на качество продовольственного сырья. Полученные данные подтверждают большой потенциал использования этих растений для повышения функциональных свойств и пищевой ценности кисломолочных продуктов. Результаты исследования могут быть полезны при разработке новых функциональных продуктов питания, направленных на укрепление иммунитета и профилактику заболеваний.

Ключевые слова: *молоко, кисломолочные продукты, биологически активные добавки, эхинацея, левзея, шиповник.*

A.M. Muratbaev*, G.A. Zhumadilova, B.A. Idyrishev, M.M. Tashybayeva, A.K. Bazanova
Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A
*e-mail: great_mister@mail.ru

ASSESSMENT OF QUALITY AND FOOD SAFETY OF MEDICINAL PLANTS FOR ENRICHMENT OF FERMENTED MILK PRODUCTS

The article presents the results of a study of the quality and safety of medicinal plants (purple echinacea, safflower leuzea, rose hips) for use as biologically active additives (BAA) in fermented milk products. The aim of the work was to assess the content of biologically active substances (polyphenols, flavonoids, phenolic substances, tannins and vitamin C) in plant materials, as well as to determine the level of radionuclides to confirm their safety. The studies were conducted using standard analytical methods. The results showed that the studied plants contain a large number of biologically active substances. The highest content of polyphenols and flavonoids was found in rose hips, and the highest content of tannins - in purple echinacea. Saponins have been found in Echinacea purpurea and Leuzea carthamoides. All samples meet

regulatory requirements for radionuclides, which makes them suitable for use in the food industry. This is especially important for ecologically unfavorable regions, such as the Abay district, where environmental pollution can affect the quality of food raw materials. The obtained data confirm the great potential of using these plants to improve the functional properties and nutritional value of fermented milk products. The results of the study can be useful in developing new functional food products aimed at strengthening immunity and preventing diseases.

Key words: *milk, fermented milk products, biologically active additives, echinacea, leuzea, rose hips.*

Авторлар туралы мәліметтер

Алибек Манарбекович Муратбаев * – PhD, «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының аға оқытушысы, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: great_mister@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0830-5007.

Гульмира Амангазыевна Жумадилова – PhD, «Машинажасау және логистика» кафедрасының аға оқытушысы, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: zhumadilovaga@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0722-8860.

Берік Арыстанбекұлы Идырышев – «Тамақ өндірістерінің технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, PhD, Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: b_1991@mail.ru. ORCID: https://doi.org/0000-0002-0495-2530.

Маржан Мейрамбекқызы Ташыбаева – «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының PhD, оқытушы, Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: marzhan06081990@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7408-5906.

Арай Кайратовна Базанова – «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының докторанты, Шәкәрім университеті, Қазақстан Республикасы, Семей қ.; e-mail: arayka.bazanovak@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1722-0657.

Сведения об авторах

Алибек Манарбекович Муратбаев * – PhD, старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование», Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: great_mister@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0830-5007.

Гульмира Амангазыевна Жумадилова – PhD, старший преподаватель кафедры «Машиностроение и логистика»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: zhumadilovaga@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0722-8860.

Берік Арыстанбекұлы Идырышев – старший преподаватель, PhD кафедры «Технология пищевых производств», Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: b_1991@mail.ru. ORCID: https://doi.org/0000-0002-0495-2530.

Маржан Мейрамбековна Ташыбаева – PhD, преподаватель кафедры «Технологическое оборудование»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: marzhan06081990@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7408-5906.

Арай Кайратовна Базанова – докторант кафедры «Технологическое оборудование»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: arayka.bazanovak@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1722-0657.

Information about the authors

Alibek Muratbayev * – PhD, Senior Lecturer of the department «Technological equipment»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: great_mister@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0830-5007.

Gulmira Zhumadilova – PhD, Senior Lecturer of the department «Mechanical Engineering and Logistics»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: zhumadilovaga@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0722-8860.

Berik Idyryshev – PhD, Senior Lecturer of the department «Food Production Technology»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: ab_1991@mail.ru. ORCID: https://doi.org/0000-0002-0495-2530.

Marzhan Tashybayeva – PhD, lecturer of the department «Technological equipment»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: marzhan06081990@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7408-5906.

Aray Bazanova – doctoral student of the department «Technological equipment»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: arayka.bazanovak@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1722-0657.

Редакцияға енуі 02.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 08.09.2025
Жариялауға қабылданды 09.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-49

МРНТИ: 65.59.03

BY 4.0
Check for updates

М.М. Шарапатова*, З.В. Капшакбаева, К.С. Исаева
Торайгыров университет,
140000, Республика Казахстан, Павлодарская область. Павлодар, ул. Ломова 64
*e-mail: madina_szd@mail.ru

МИКРОФЛОРА НАЦИОНАЛЬНЫХ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИДОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЗАКВАСКИ ДЛЯ БАРАНИНЫ

Аннотация: *Использование стартовых культур, обладающих активной метаболической деятельностью в процессе ферментации, представляет собой эффективный биотехнологический метод обработки мясных продуктов, обеспечивающий их безопасность, повышение микробиологической стабильности и продление сроков хранения. Особенно перспективным направлением является применение штаммов, выделенных из традиционных кисломолочных продуктов, способствующих сохранению аутентичного вкуса и улучшению органолептических характеристик ферментированной баранины. Разработка отечественных заквасок на основе таких штаммов имеет практическую значимость для расширения ассортимента национальной мясной продукции, снижения зависимости от импортных культур и соответствия требованиям современной пищевой промышленности и концепции функционального питания.*

Целью настоящего исследования является проведение сравнительного микробиологического анализа традиционного кисломолочного продукта курта, изготовленного по различным технологическим рецептам, а также оценка влияния времени выдержки на процессы ферментации и качественные характеристики баранины при использовании заквасок на основе выделенных бактерий.

В работе проведено выделение и предварительная идентификация молочнокислых бактерий из трёх образцов традиционного казахского кисломолочного продукта – курта. В качестве заквасок использованы штаммы L. Casei и L. lactis., продемонстрировавшие высокую жизнеспособность и положительные органолептические характеристики после активации. Разработана технология ферментации баранины с применением закваски на основе микроорганизмов, выделенных из традиционного кисломолочного продукта курта. Образцы мяса выдерживали при температуре 4 °C с добавлением 5 % соли и 20 % закваски в течение 4, 8 и 12 часов. Результаты показали снижение pH, увеличение содержания влаги и жира, улучшение текстуры продукта и формирование мясомолочного аромата. Активность воды оставалась на безопасном уровне (Aw <0,90), что обеспечивало микробиологическую стабильность.

В статье были применены теоретические и экспериментальные исследования. Экспериментальные исследования проводились на базе лаборатории физико-химического анализа пищевых продуктов им. профессора К. Ж. Амирханова в Университет имени Шакарима города Семей с использованием общепринятых, модифицированных и стандартных методов.

Полученные данные подтверждают перспективность использования автохтонных молочнокислых культур из курта для производства национальных ферментированных мясных продуктов из баранины, способствуя улучшению их качества, безопасности и органолептических характеристик. В дальнейшем целесообразно направить усилия на оптимизацию технологии ферментации и расширение функциональных свойств готового продукта.

Ключевые слова: *курт, ферментация, органолептические характеристики, заквасочные культуры, лактобактерии, баранина, аутентичные продукты, микробиологический анализ.*

Введение.

Благодаря высоким потребительским качествам – таким как выраженный вкус, оптимальная консистенция, а также содержание биологически ценных витаминов и минералов – национальные кисломолочные продукты традиционно занимают важное место в рационе населения [1].

Курт – это универсальный кисломолочный продукт, используемый как приправа к различным блюдам, а также как самостоятельный продукт питания. Он представляет собой источник макро- и микронутриентов в легкоусвояемой форме, способствует поддержанию полезной микрофлоры кишечника, популярен среди различных возрастных групп и широко потребляется в качестве элемента здорового питания [2].

Особую роль в формировании функциональных свойств национальных кисломолочных продуктов играет микроорганизмы, представленные живыми молочнокислыми бактериями [3]. Эти микроорганизмы благотворно воздействуют на здоровье человека, способствуют улучшению пищеварения, поддержанию баланса кишечной микробиоты, а также обладают пробиотическим потенциалом [4].

Современные исследования подтверждают высокую антагонистическую активность молочнокислых бактерий, выделенных из традиционных кисломолочных продуктов, по отношению к патогенной микрофлоре, а также их способность синтезировать биологически активные соединения, улучшающие качество продуктов животного происхождения [5,6]. Это открывает перспективы использования автохтонных штаммов в качестве природных заквасочных культур, адаптированных к местной среде и способных обеспечивать стабильные технологические и сенсорные характеристики конечного продукта.

Заквасочные культуры представляют собой совокупность жизнеспособных клеток одного или нескольких видов микроорганизмов, предназначенных для интенсификации процессов ферментации. Ключевая функция заквасочных культур, преимущественно представленных молочнокислыми бактериями, при ферментации продуктов животного происхождения заключается в интенсивной выработке молочной кислоты. Это приводит к снижению pH среды, что, в свою очередь, подавляет развитие патогенной и нежелательной микрофлоры, способствуя повышению микробиологической стабильности и продлению сроков хранения ферментированных продуктов [7].

Применение заквасочных культур в мясной промышленности нацелено не только на продление сроков хранения, но и на формирование органолептических свойств, обеспечивающих высокую потребительскую привлекательность [8].

Несмотря на то что баранина признана ценным источником высококачественного мяса, а также богата витаминами, минералами и незаменимыми полиненасыщенными жирными кислотами [9, 10], её специфический запах (широко известный как «бараний») продолжает оказывать отрицательное влияние на потребительскую приемлемость. Исследования Синк и др. показали, что запах в основном исходит от жировой ткани баранины [11].

На сегодняшний день ферментация мяса с использованием заквасок, включая баранину, представляет собой перспективный метод переработки, особенно в контексте сохранения аутентичного вкуса и обеспечения микробиологической стабильности способных улучшать органолептические показатели.

Согласно данным – С.В. Казьминой. и др., применение комплекса молочнокислых бактерий и бифидобактерий для биомодификации баранины способствовало улучшению функционально-технологических свойств, включая повышение водосвязывающей и водоудерживающей способностей, а также снижению pH среды, что позволяет эффективно сократить продолжительность посола в два раза [12].

В исследования С.Джонг и др. была доказана важная роль в развитии аромата и текстуры, а также в улучшении цвета за счет выработки кислоты определенных штаммов молочнокислых бактерий [13].

Полученные в исследовании данные Я. Лью и др. подтверждают целесообразность и эффективность использования пробиотических культур МКБ, а именно *Pediococcus pentosaceus* MJ11 и *Lactiplantibacillus pentosus* GM09 в качестве натуральных стартовых культур для ферментированных мясных изделий из баранины. Их применение способствовало не только улучшению органолептических характеристик продукта, включая развитие выраженного вкусоароматического профиля, но и повышению микробиологической безопасности, что позволяет рассматривать данные штаммы как перспективные для применения в технологиях мясной ферментации [14].

Ц.Джоу и др. применили *Lactiplantibacilllus plantarum* (Lp), *Pediococcus pentosaceus* (Pp) и *Staphylococcus carnosus* (Sc) для удаления запаха жирной кислоты и исследования влияние на качественные характеристики вяленой баранины. Результаты показали, что под действием микробных ферментов три основные жирные кислоты (4-метилоктановая кислота, 4-этилоктановая кислота и 4-метилнонановая кислота), которые формируют запах баранины, были гидролизованы. Группа ферментации показала увеличение общей сенсорной оценки внешнего вида, цвета, вкуса и текстуры, а также увеличение удобства для потребителя [15].

Полученные данные в ходе литературного обзора свидетельствуют о перспективности использования выделенных автохтонных микроорганизмов в качестве природных заквасочных культур для ферментации мясной продукции, в частности баранины. Применение таких заквасок может способствовать улучшению органолептических свойств, повышению микробиологической стабильности, увеличению срока хранения мясных продуктов из баранины.

Традиционно процесс ферментации мясных продуктов осуществляется естественной микробиотой, присутствующей в мясе. В современных технологиях переработки мяса всё более широко применяются коммерческие заквасочные культуры. Однако их использование нередко сопровождается снижением выраженности традиционного аромата и вкусовых характеристик готовой продукции [16]. В качестве наиболее перспективных заквасок рассматриваются микроорганизмы, выделенные из автохтонной микрофлоры традиционных пищевых продуктов [17], поскольку они демонстрируют высокую адаптивность к специфическим условиям среды и обладают способностью эффективно подавлять развитие порчи и патогенной микрофлоры [18]. В частности, применение штаммов, выделенных из традиционных кисломолочных продуктов, таких как курт, может способствовать сохранению региональных органолептических особенностей и повышению качества ферментированных мясных изделий.

Интеграция традиционных методов с современными технологиями пищевой переработки, включая биотехнологические процессы и управление ферментацией, предоставляет расширенные возможности для целенаправленного изменения качественных характеристик мясных продуктов, повышая их сенсорную и пищевую ценность в соответствие запросам современного потребителя.

В этой связи особый интерес представляет изучение микробиологического состава традиционного казахского кисломолочного продукта курта, обладающего разнообразием видов и способов приготовления. Настоящее исследование было направлено на микробиологический анализ разных видов курта с целью выделения и идентификации потенциально функционально значимых молочнокислых бактерий. На основе выделенных культур была приготовлена закваска, после чего проведён эксперимент с ферментацией баранины при различном времени выдержки (4, 8 и 12 часов). Полученные данные легли в основу обсуждения возможностей использования автохтонных штаммов в технологии ферментированной баранины. Особое внимание уделено оценке эффективности этих микроорганизмов в качестве природных заквасочных культур, способствующих улучшению микробиологической стабильности, органолептических характеристик и биологической ценности мясного продукта.

Методы исследований

В качестве объектов исследований были отобраны три вида кисломолочного продукта курта, приготовленные по различным технологиям: 1) мягкий кислый курт-сузбе «Адал Ас» (г.Семей, Абайская область); 2) домашний кисло-сладкий полутвёрдый и 3) домашний полутвердый сладкий курт твердый (с. Баянаул и г. Павлодар, Павлодарская область) обезжиренное молоко с целью получения закваски, а также баранина (в возрасте до 1 года) после 24 часового убоя мякоть шейной части.

Исследования проводились в лаборатории физико-химического анализа пищевых продуктов имени доктора технических наук, профессора К. Амирханова Университета имени Шакарима города Семей.

Выделение и идентификация молочнокислых бактерий. Методы исследования включали стандартные методики выделения и идентификации микроорганизмов, предусматривающие посев и культивирование на питательной среде ГМФ- АГАР ТУ 9385-058-39484474-2009, а также последующую идентификацию бактерий согласно ГОСТ 32031–2012 [19]. Жизнеспособность клеток определяли по ГОСТ 10444.11-2013 [20].

Для выделенных изолятов описаны культуральные признаки (форма, цвет, размер колоний, характер роста) и морфологические характеристики (форма клеток, расположение, подвижность). Для предварительной идентификации использовался определитель Bergey (Bergey's Manual of Systematic Bacteriology).

Подготовка закваски и ферментация мяса.

Закваска на основе выделенных штаммов молочнокислых бактерий готовилась в соответствии с положениями ГОСТ 34372-2017 [21]. Концентрация активной микробной массы достигала не менее 10^8 КОЕ/мл, контролировалось методами, описанными в ГОСТ 31449-2013 [22].

Для определения параметров в заквасках полученных на основе лактобактерий: pH - H12211 pH/ORP Meter, Титруемая кислотность ГОСТ 23227-2014 [23].

Органолептическая оценка: оценка проводилась с использованием метода сенсорного анализа по вкусу, запаху, цвету и консистенции.

Методика проведения исследования ферментации баранины с использованием заквасок на основе микроорганизмов, выделенных из курта. Для исследования было подготовлено четыре группы мясных образцов массой по 150 г каждая, одна из которых служила контролем (без внесения закваски), а три другие подвергались ферментации с использованием заквасочной суспензии, содержащей молочнокислые бактерии, выделенные из курта. Закваска вносилась в объёме 30 мл (что составляет 20% от массы мяса), во все образцы также добавляли соль в количестве 7,5 г (5%). Все образцы выдерживались при температуре 4 °C в течение разного времени: 4, 8 и 12 часов соответственно, с целью изучения влияния времени выдержки на процессы ферментации и качество мясного продукта. (Закваска предварительно активирована в обезжиренном молоке при 37 °C в течение 16-18 часов до достижения титра ~10^8 КОЕ/мл).

В ходе исследования образцов для определения физико-химических и органолептических показателей использовались следующие методы:

1. Определение pH: Уровень кислотности мяса измеряли с помощью pH-метра в соответствии с ГОСТ 31861-2012[24]. Данный показатель позволяет оценить эффективность процесса ферментации.

2. Активность воды (Aw): Определялась с использованием прибора HD-6 в соответствии с ГОСТ 31862-2012 [25]. Активность воды является ключевым показателем микробиологической стабильности пищевых продуктов.

3. Физико-химический анализ: Содержание влаги, белка, жира и соли определяли согласно общепринятым методикам. Анализы проводились на приборе «Инфралюм» в лаборатории физико-химического анализа пищевых продуктов имени профессора К.Ж. Амирханова.

4. Органолептическая оценка: Осуществлялась методом сенсорного анализа по таким параметрам, как вкус, запах, цвет и структура. Изменения на каждом этапе фиксировались и анализировались в сравнительной форме.

Результаты исследований и их обсуждения

В ходе микробиологического анализа образцов курта, изготовленных по различным технологиям, рост молочнокислых микроорганизмов был зафиксирован во втором (домашний кисло-сладкий полутвёрдый) и в третьем (домашний сладкий полутвердый) образцах. В первом образце – мягком курте-сузбе «Адал Ас» (г. Семей) – рост колоний на питательной среде ГМФ-Агар отсутствовал при всех степенях разведения.

Предположительно, это связано с технологическими особенностями при производстве: продукт выпускается в герметично закупоренной банке, что может свидетельствовать о предварительной пастеризации или применении консервации, приведших к инактивации естественной микрофлоры.

Из двух видов были выделены и определена предположительная идентифицикация штаммов молочнокислых бактерий, определены их культуральные и морфологические характеристики.

В результате изучения морфологических свойств выросших колоний установлено, что все исследованные бактериальные изоляторы являются неподвижными, не образуют спор и характеризуются положительной грам-окраской, что свидетельствует об их принадлежности к типичным представителям семейства *Lactobacillaceae*. Выросшие колонии продемонстрированы на рисунке 1.

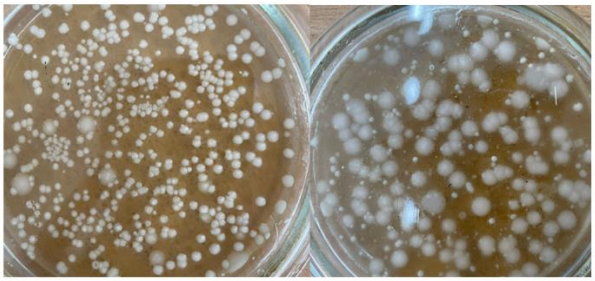


Рисунок 1 – Рост колонии чистой культуры лактобактерии на ГМФ- агаре

Приведенные морфологические и культуральные свойства лактобактерии использовали для их идентификации. В соответствии с определителем Bergey выделенные молочнокислые бактерии были отнесены Lacticaseibacillus и Lactococcus. В таблице 1 представлена характеристика выделенных штаммов.

Таблица 1 – Описание характеристик штаммов

№	Вид курта	Морфологические признаки	Культуральные признаки	Предположительная идентификация штамма
1	домашний кисло-сладкий полутвёрдый	овальные кокки одиночные, диплококки, величина клеток 0,8-1,0 мкм	колонии округлой формы, гладкие и кремово-белой окраски, матовые	L. casei
2	домашний сладкий полутвёрдый	цепочки из четырех, шести сегментов, величина клеток 10-15 мкм	колонии, округлые, гладкие, молочно-белый или сероватой окраски, матовые	L. lactis

Для заквашивания обезжиренного молока с целью получения закваски, были использованы штаммы молочнокислых бактерий *L. casei* и *L. lactis* , отличающиеся по культуральным и морфологическим свойствам, но принадлежащие к одному роду Lactobacillus. Основные параметры заквасок, полученных на основе изолятов *L. casei* и *L. lactis*, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры полученных заквасок на основе лактобактерии

№	Предположительная идентификация штамма	Ph (H12211 pH/ORP Meter)	Титруемая кислотность (ГОСТ 3642-92)	Жизнеспособность клеток (ГОСТ 32901-2014)
1	L. casei	4,22	80 °Т	10^9 КОЕ/мл
2	L. lactis	4,18	75 °Т	10^7 КОЕ/мл

При заквашивании сырья титр клеток молочнокислых микроорганизмов составлял: штамм № 1 – 10^9 КОЕ/мл; штамм № 2 – 10^7 КОЕ/мл; штамм. После внесения заквасочной культуры (бактерии рода Lactobacillus) в сырье с последующей выдержкой в термостате (при t – 37 °С), было обнаружено, что белок казеин коагулировался и образовал плотный сгусток (рис. 2).

Рисунок 2 – Закваска на основе выделенных микроорганизмов домашнего кисло-сладкого полутвёрдого курта

Полученная закваска на основе обезжиренного молока с молочнокислыми бактериями, выделенных из традиционного продукта курт, продемонстрировала благоприятные органолептические характеристики (представлены в табл. 3) и высокий титр жизнеспособных клеток (не менее 10^7 КОЕ/мл). В процессе термостатирования был достигнут оптимальный уровень кислотности, соответствующий значению pH 4,22-4,18, что свидетельствует об активной метаболической активности микроорганизмов и пригодности данной закваски для эффективного применения в качестве стартовой культуры при ферментации и посоле мясных продуктов из баранины.

После биотехнологической обработки баранины с использованием заквасок на основе молочнокислых бактерий было исследовано четыре образца: контрольный (с выдержкой 4 часа) и три опытных – с внесением закваски и выдержкой 4, 8 и 12 часов соответственно.

Таблица 3 – Органолептические характеристики заквасок

№	Предположительная идентификация штамма	Запах	Консистенция	Вкус	Цвет
1	L. casei	слегка кислый, свежий	умеренно густая, слегка вязкая	чистый, умеренно выраженный кисломолочный вкус	молочно-бежевый, равномерный
2	L. lactis	слегка кислый, свежий	густая, слегка вязкая, однородная	чистый, выраженный кисломолочный вкус	молочно-бежевый, равномерный

После ферментации каждый образец был измельчен на мясорубке. В результате проведённого исследования было установлено, что внесение заквасок в посолочную смесь влияет на физико-химические характеристики баранины. Данные, характеризующие физико-химические свойства образцов, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты исследований физико-химических показателей

Образцы	М.д белка (%)	М.д влаги (%)	М. д. жира (%)	М.д соли (%)
Контроль	19,21	66,71	11,23	2,55
Опыт 1	17,31	66,70	15,66	2,15
Опыт 2	17,02	62,42	22,62	2,29
Опыт 3	18,11	70,90	10,60	2,46

Содержание белка в опытных образцах (17,02-18,11%) оказалось несколько ниже, чем в контрольной пробе (19,21 %), что может быть связано с частичным гидролизом белков в процессе ферментации под действием протеолитических ферментов молочнокислых бактерий.

Содержание влаги варьировалось в пределах от 62,42% до 70,90%. Наибольшее влагосодержание было отмечено в образце с наибольшим временем ферментации (опыт 3), что, вероятно, связано с более выраженным эффектом удержания влаги в результате структурных изменений в белках под действием ферментации.

Содержание жира существенно увеличилось в опытах 1 и 2 (до 22,62% в образце 2), что может быть обусловлено как изменениями в липидной фракции под действием ферментации, так и перераспределением влаги.

Содержание соли в образцах варьировало незначительно (от 2,15% до 2,55%) и соответствовало диапазону, характерному для кратковременного посола мясных продуктов.

Таким образом, ферментация с использованием заквасок на основе молочнокислых бактерий оказывает комплексное влияние на структуру и состав мясного сырья. Особенно перспективным является образец 3, в котором отмечено оптимальное сочетание белка, влаги и пониженного содержания жира, что может быть предпочтительно с точки зрения диетических и органолептических характеристик продукта. Диаграмма, иллюстрирующая изменения физико-химических показателей, исследуемых образцов баранины, представлена на рисунке 3.

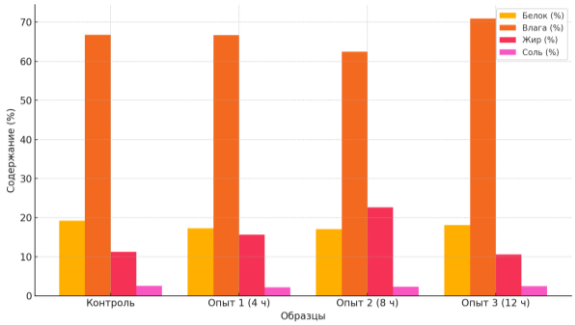


Рисунок 3 – Физико-химические показатели образцов баранины

Добавление закваски, содержащей молочнокислые микроорганизмы, способствовало снижению pH мясного сырья (результаты анализа приведены в табл. 5), что играет ключевую роль в подавлении нежелательной микрофлоры, повышении микробиологической

стабильности и увеличении сроков хранения продукта. Кроме того, снижение кислотности способствует формированию характерного вкуса, присущего ферментированным мясным изделиям [26].

Таблица 5 – Результаты исследований pH и Aw опытных образцов

Показатель	Контроль	Опыт 1	Опыт 2	Опыт
pH (ГОСТ 9793-2016)	6.23	5.71	5.95	5.86
Активность воды (Aw) (ГОСТ 31862-2012.)	0.51	0.53	0.57	0,58

Наиболее интенсивное снижение pH отмечено уже через 4 часа, что делает кратковременную ферментацию (4-6 часов) эффективной стадией технологического процесса.

Рост активности воды (Aw) с увеличением времени ферментации указывает на: активацию ферментативных процессов, усиление гидратации тканей, рост микробиологической активности, обусловленной деятельностью молочнокислых микроорганизмов [27].

Важно отметить, что значения Aw во всех образцах остаются ниже критического уровня 0,90, при котором развивается большинство патогенной микрофлоры. Это подтверждает безопасность продукта при кратковременной ферментации.

Динамика указанных показателей во всех исследуемых образцах представлена на графике (рис. 7).

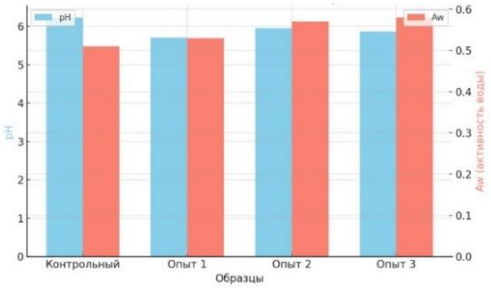


Рисунок 7 – Физико-химические показатели ферментированных мясных образцов

По результатам сенсорного анализа оценки в запахе мяса произошли значительные изменения с увеличением времени ферментации: в контрольном образце запах был выраженным бараньим, характерным для свежей баранины. В опытном образце 1 (4 ч) наблюдалось лишь умеренное ослабление бараньего запаха. В образцах 2 (8 ч) и 3 (12 ч) произошла полная замена бараньего запаха на мясомолочный и молочный соответственно. Это свидетельствует о выраженном влиянии молочнокислой микрофлоры на ароматические соединения мяса, при длительной ферментации маскируя специфический запах баранины.

Цветовая характеристика мяса во всех вариантах (контроль и опытные образцы) осталась стабильной: бледно-красный, равномерный по всей массе, с естественным мясным оттенком (рис. 8). Это указывает на то, что использование заквасок не оказывает негативного влияния на визуальную привлекательность продукта.

Рисунок 8 – Образцы баранины после ферментации

Консистенция мяса в опытных образцах стала более мягкой и пластичной, особенно после 8 и 12 часов ферментации, что может быть связано с началом протеолитических процессов под действием молочнокислых бактерий.

Учитывая традиционный характер производства вяленого мяса и его зависимость от неконтролируемых факторов окружающей среды, внедрение заквасок на основе курта может сыграть ключевую роль в обеспечении безопасности, стабильности и сенсорной однородности продукции. При этом выбор стартовых культур должен учитывать специфику технологического процесса, тип используемого сырья и особенности готового изделия. Перспективные направления дальнейших исследований связаны с применением омиксных технологий для глубокой характеристики функциональных свойств выделенных штаммов и оптимизации процессов ферментации.

Заключение

При изучении микрофлоры национального кисломолочного продукта – курта, были выделены культуры молочнокислых микроорганизмов. Установлено, что выделенные микроорганизмы имеют морфологические и культуральные признаки, характерные для представителей семейства Lactobacillaceae. Дифференцированы были следующие штаммы молочнокислых бактерий: L. Casei и L. lactis .

Применение закваски, полученной на основе молочнокислых микроорганизмов, выделенных из кисломолочного продукта курт оказало положительное влияние на качество ферментированной баранины. По органолептическим характеристикам: исчез специфический бараний запах, появлялся мясомолочный аромат, а консистенция становилась мягкой и пластичной, что указывает на активное действие ферментативных процессов. Физико-химические изменения включали снижение pH (до 5,71–5,86), увеличение влаги (до 70,90 %) и содержания жира (до 22,62 %), что свидетельствует о биохимической активности и расщеплении белково-жировых компонентов.

Таким образом, применение полученной закваски в процессе ферментации, положительно влияет на органолептические показатели баранины и способствует обеспечению её микробиологической безопасности и стабильности. Процесс ферментации при использование данной закваски способствует улучшению качества баранины, формированию более выраженных сенсорных свойств и обеспечению микробиологической стабильности продукта.

Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение эффекта более продолжительных сроков ферментации (свыше 12 часов), с целью оптимизации текстурных, вкусо-ароматических и функциональных характеристик продукта, а также возможного увеличения сроков хранения без применения консервантов.

Список литературы

1. International Journal of Food Science and Technology / Integrating Tradition and Technology in National Food Production: A Global Perspective. – 2021. – Vol. 56, Issue 9, P. 1247-1263.
2. Kochkorova F.A. Nutrional value of the national dairy product kurut and its place in the nutrition of adolescents of the Kyrgyz Republic / F.A. Kochkorova, G.S. Kitarova // Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. – 2021. – № 90(5). – P. 87-95. https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-87-95.
3. Ермолаева А.Н. Выделение и изучение промышленно- ценных штаммов микроорганизмов из кисломолочных продуктов // Биотехнология. Теория и практика. – 2012. – № 3.
4. Кургамбаева Г.С. Выделение и идентификация дрожжей рода Saccharomyces из кумыса различных регионов северного Казахстана // Биотехнология. Теория и практика. – 2014. – № 4.
5. Pejkovski Z. Usage of starter cultures as inhibitors of microbiological hazards in fermented meat products. Knowledge / Z. Pejkovski, A. Silovska Nikolova // International Journal. – 2023. – № 58(3). – P. 433-437. Retrieved from https://ikm.mk/ojs/index.php/kij/article/view/6129.
6. Gänzle M.G. Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage // Current Opinion in Food Science. – 2015. – T. 2. – P. 106-117.
7. García-Díez J. Use of Starter Cultures in Foods from Animal Origin to Improve Their Safety / J. García-Díez, C. Saraiva // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2021. – № 18(5). – P. 2544. https://doi.org/10.3390/ijerph18052544.

8. Hammes W.P. New developments in meat starter cultures / W.P. Hammes, C. Hertel // Meat Science. –1998. – 49, № 1, S1.
9. Ponnampalam E.N. Sheep: Meat Reference Module in Food Science / E.N. Ponnampalam, B.W.B. Holman, N.DScollan // in: Encyclopedia of Food and Health. – 2016. – P. 750-757.
10. Chemical composition and fatty acid content in lamb and adult sheep meat / A. Junkuszew et al // Arch. Anim. Breed. – 2020. – № 63. – P. 261-268. https://doi.org/10.5194/aab-63-261-2020.
11. Sink J.D. Lamb and mutton flavour: Contributing factors and chemical aspects / J.D. Sink, F. Caporaso // Meat Science. – 1977. – Vol. 1, Issue 2. – P. 119-127. https://doi.org/10.1016/0309-1740(77)90013-4.
12. Казьмина С.В. Обоснование использования стартовых культур в технологии варенокопченых колбас / С.В. Казьмина, Н.А. Каширина, Е.Е. Курчаева // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2016. – № 1(6). С. 64-72.
13. Two Debaryomyces hansenii strains as starter cultures for improving the nutritional and sensory quality of dry-cured pork belly / Xiaohui Gong et al // Shouwei Wang,Food Research International. – 2024. – Vol. 183. – P. 114227. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114227.
14. Effect of a combination of probiotics on the flavor profiling and biogenic amines of composite fermented mutton sausages / Yana Liu et al // Food Bioscience. – 2024. – Vol. 61. – P. 104835. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104835.
15. Lactic acid bacteria and Staphylococcus carnosus fermentation as a means for eliminating 4-alkyl branched odour fatty acids of mutton jerky and its effect on other quality characteristics / Jiaying Zhou et al // International Journal of Food Science and Technology. – 2022. – Vol. 57, Issue 10. – P. 6843-6851. https://doi.org/10.1111/ijfs.16024.
16. Physicochemical and microbiological properties of fermented lamb sausages using probiotic Lactobacillus plantarum IIA-2C12 as starter culture / I.I. Arief et al // Proc. Envi. – 2014. – Sci. 20. – P. 352-356. http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.044.
17. A review of selection criteria for starter culture development in the food fermentation industry / G.V.M. Pereira et al // Food Rev. Int. – 2020. – № 36. – P. 135-167.
18. Laranjo M. Role of Starter Cultures on the Safety of Fermented Meat Products / M. Laranjo, M.E. Potes, M. Elias // Front. Microbiol. – 2019. – № 26. – P. 583.
19. ГОСТ 32031–2012. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования к методам выявления и идентификации микроорганизмов. – Введ. 01.07.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 25 с.
20. ГОСТ 10444.11–2013 Микробиология пищевых продуктов. Метод подсчета количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (МАФАМ). – Введ. 01.01.2015. – М.: Стандартинформ, 2014. – 14 с.
21. ГОСТ 34372–2017 – Закваски бактериальные для производства молочной продукции. Общие технические условия. – Введ. 01.09.2018. – М.: Стандартинформ, 2018. – 18 с.
22. ГОСТ 31449-2013 – Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества пробиотических микроорганизмов. – Введ. 01.07.2014. – М.: Стандартинформ, 2019. – 7 с.
23. ГОСТ 23227-2014 – Молоко и молочные продукты. Метод определения титруемой кислотности. – Введ. 01.01.2013. – М.: Стандартинформ, 2019. – 8 с.
24. ГОСТ 31861-2012 Пищевая продукция. Метод измерения pH. – Молоко и молочные продукты. Метод определения титруемой кислотности. – Введ. 01.01.2014. – М.: Стандартинформ, 2019. – 30 с.
25. ГОСТ 31862-2012 Пищевые продукты. Метод определения активности воды. – Введ. 01.01.2014. – М.: Стандартинформ, 2013. – 7 с.
26. Ponomarev V.Y. Use of a promising strain of Lactobacillus plantarum 131 as a starter culture for fermented sausage production / V.Y. Ponomarev, E.S. Yunusov // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2025. – Т. 3268, № 1. – P. 040004.
27. Perspectives on the probiotic potential of indigenous moulds and yeasts in dry-fermented sausages / M. Álvarez et al // Microorganisms. – 2023. – Т. 11, № 7. – P. 1746.

References

1. International Journal of Food Science and Technology / Integrating Tradition and Technology in National Food Production: A Global Perspective. – 2021. – Vol. 56, Issue 9, R. 1247-1263. (In English).

2. Kochkorova F.A. Nutrional value of the national dairy product kurut and its place in the nutrition of adolescents of the Kyrgyz Republic / F.A. Kochkorova, G.S. Kitarova // Voprosy pitaniia [Problems of Nutrition]. – 2021. – № 90(5). – R. 87-95. https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-87-95. (In English).
3. Ermolaeva A.N. Vydelenie i izuchenie promyshlenno- tsennykh shtammov mikroorganizmov iz kislomolochnykh produktov // Biotekhnologiya. Teoriya i praktika. – 2012. – № 3. (In Russian).
4. Kurgambaeva G.S. Vydelenie i identifikatsiya drozhzhei roda Saccharomyces iz kumysa razlichnykh regionov severnogo Kazakhstana // Biotekhnologiya. Teoriya i praktika. – 2014. – № 4. (In Russian).
5. Pejkovski Z. Usage of starter cultures as inhibitors of microbiological hazards in fermented meat products. Knowledge / Z. Pejkovski, A. Silovska Nikolova // International Journal. – 2023. – № 58(3). – R. 433-437. Retrieved from https://ikm.mk/ojs/index.php/kij/article/view/6129. (In English).
6. Gänzle M.G. Lactic metabolism revisited: metabolism of lactic acid bacteria in food fermentations and food spoilage // Current Opinion in Food Science. – 2015. – T. 2. – R. 106-117. (In English).
7. García-Díez J. Use of Starter Cultures in Foods from Animal Origin to Improve Their Safety / J. García-Díez, C. Saraiva // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2021. – № 18(5). – R. 2544. https://doi.org/10.3390/ijerph18052544. (In English).
8. Hammes W.P. New developments in meat starter cultures / W.P. Hammes, C. Hertel // Meat Science. –1998. – 49, № 1, S1. (In English).
9. Ponnampalam E.N. Sheep: Meat Reference Module in Food Science / E.N. Ponnampalam, B.W.B. Holman, N.DScollan // in: Encyclopedia of Food and Health. – 2016. – R. 750-757. (In English).
10. Chemical composition and fatty acid content in lamb and adult sheep meat / A. Junkuszew et al // Arch. Anim. Breed. – 2020. – № 63. – R. 261-268. https://doi.org/10.5194/aab-63-261-2020. (In English).
11. Sink J.D. Lamb and mutton flavour: Contributing factors and chemical aspects / J.D. Sink, F. Caporaso // Meat Science. – 1977. – Vol. 1, Issue 2. – P. 119-127. https://doi.org/10.1016/0309-1740(77)90013-4. (In English).
12. Kaz'mina S.V. Obosnovanie ispol'zovaniya startovykh kul'tur v tekhnologii varenokopchenykh kolbas / S.V. Kaz'mina, N.A. Kashirina, E.E. Kurchaeva // Tekhnologii i tovarovedenie sel'skokhozyaistvennoi produktsii. – 2016. – № 1(6). S. 64-72. (In Russian).
13. Two Debaryomyces hansenii strains as starter cultures for improving the nutritional and sensory quality of dry-cured pork belly / Xiaohui Gong et al // Shouwei Wang,Food Research International. – 2024. – Vol. 183. – R. 114227. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114227. (In English).
14. Effect of a combination of probiotics on the flavor profiling and biogenic amines of composite fermented mutton sausages / Yana Liu et al // Food Bioscience. – 2024. – Vol. 61. – R. 104835. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104835. (In English).
15. Lactic acid bacteria and Staphylococcus carnosus fermentation as a means for eliminating 4-alkyl branched odour fatty acids of mutton jerky and its effect on other quality characteristics / Jiaying Zhou et al // International Journal of Food Science and Technology. – 2022. – Vol. 57, Issue 10. – P. 6843-6851. https://doi.org/10.1111/ijfs.16024. (In English).
16. Physicochemical and microbiological properties of fermented lamb sausages using probiotic Lactobacillus plantarum IIA-2C12 as starter culture / I.I. Arief et al // Proc. Envi. – 2014. – Sci. 20. – R. 352-356. http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.044. (In English).
17. A review of selection criteria for starter culture development in the food fermentation industry / G.V.M. Pereira et al // Food Rev. Int. – 2020. – № 36. – R. 135-167. (In English).
18. Laranjo M. Role of Starter Cultures on the Safety of Fermented Meat Products / M. Laranjo, M.E. Potes, M. Elias // Front. Microbiol. – 2019. – № 26. – R. 583. (In English).
19. GOST 32031–2012. Mikrobiologiya pishchevykh produktov i kormov dlya zhivotnykh. Obshchie trebovaniya k metodam vyyavleniya i identifikatsii mikroorganizmov. – Vved. 01.07.2014. – M.: Standartinform, 2014. – 25 s. (In Russian).
20. GOST 10444.11–2013 Mikrobiologiya pishchevykh produktov. Metod podscheta kolichestva mezofil'nykh aehrobnykh i fakul'tativno-anaehrobnykh mikroorganizmov (MAFAM). – Vved. 01.01.2015. – M.: Standartinform, 2014. – 14 s. (In Russian).
21. GOST 34372–2017 – Zakvaski bakterial'nye dlya proizvodstva molochnoi produktsii. Obshchie tekhnicheskie usloviya. – Vved. 01.09.2018. – M.: Standartinform, 2018. – 18 s. (In Russian).

22. GOST 31449-2013 – Produkty pishchevye. Metody vyyavleniya i opredeleniya kolichestva probioticheskikh mikroorganizmov. – Vved. 01.07.2014. – M.: Standartinform, 2019. – 7 s. (In Russian).
23. GOST 23227-2014 – Moloko i molochnye produkty. Metod opredeleniya titruemoi kislotnosti. – Vved. 01.01.2013. – M.: Standartinform, 2019. – 8 s. (In Russian).
24. GOST 31861-2012 Pishchevaya produktsiya. Metod izmereniya pH. – Moloko i molochnye produkty. Metod opredeleniya titruemoi kislotnosti. – Vved. 01.01.2014. – M.: Standartinform, 2019. – 30 s. (In Russian).
25. GOST 31862-2012 Pishchevye produkty. Metod opredeleniya aktivnosti vody. – Vved. 01.01.2014. – M.: Standartinform, 2013. – 7 s. (In Russian).
26. Ponomarev V.Y. Use of a promising strain of Lactobacillus plantarum 131 as a starter culture for fermented sausage production / V.Y. Ponomarev, E.S. Yunusov // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2025. – T. 3268, № 1. – R. 040004. (In English).
27. Perspectives on the probiotic potential of indigenous moulds and yeasts in dry-fermented sausages / M. Álvarez et al // Microorganisms. – 2023. – T. 11, № 7. – R. 1746. (In English).

M. Sharapatova*, Z. Kapshakbayeva, K. Issayeva
Toraighyrov University,
140000, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, Lomova st.64
*e-mail: madina_szd@mail.ru

MICROBIAL DIVERSITY OF TRADITIONAL FERMENTED DAIRY PRODUCTS: SPECIES CHARACTERIZATION AND BIOTECHNOLOGICAL PROSPECTS FOR LAMB FERMENTATION

The use of starter cultures with active metabolic activity during fermentation represents an effective biotechnological method for processing meat products, ensuring their safety, enhancing microbiological stability, and extending shelf life. A particularly promising approach involves the application of strains isolated from traditional fermented dairy products, which contribute to preserving authentic flavor and improving the organoleptic characteristics of fermented lamb. The development of domestic starter cultures based on such strains is of practical importance for expanding the range of national meat products, reducing dependence on imported cultures, and aligning with the requirements of the modern food industry and the concept of functional nutrition.

The aim of this study is to conduct a comparative microbiological analysis of the traditional fermented dairy product kurt, produced using different technological recipes, and to assess the influence of fermentation duration on the quality characteristics of lamb when using starter cultures based on isolated bacteria.

In this work, lactic acid bacteria were isolated and preliminarily identified from three samples of the traditional Kazakh fermented dairy product kurt. Strains of Lactobacillus casei and Lactococcus lactis, which demonstrated high viability and favorable organoleptic properties upon activation, were used as starter cultures. A fermentation technology for lamb was developed using these microorganisms isolated from kurt. Meat samples were incubated at 4 °C with the addition of 5% salt and 20% starter culture for 4, 8, and 12 hours. The results indicated a decrease in pH, an increase in moisture and fat content, improvement in texture, and the formation of a meat-dairy aroma. Water activity remained at a microbiologically safe level (Aw < 0.90), ensuring product stability.

Both theoretical and experimental research methods were employed in the study. Experimental work was conducted at the Laboratory of Physicochemical Analysis of Food Products named after Professor K. Z. Amirkhanov at Shakarim University, using conventional, modified, and standardized methodologies.

The results confirm the potential of using autochthonous lactic acid cultures derived from kurt in the production of traditional fermented lamb products, contributing to improved quality, safety, and sensory characteristics. Future research should focus on optimizing the fermentation process and enhancing the functional properties of the final product.

Key words: *kurt, fermentation, organoleptic characteristics, starter cultures, lactic acid bacteria, lamb, authentic products, microbiological analysis.*

М.М. Шарапатова*, З.В. Капшакбаева, К.С. Исаева
Торайғыров университеті,
140000, Қазақстан Республикасы, Павлодар облысы, Павлодар қ, Ломов көшесі 64
*e-mail: madina_szd@mail.ru

ҰЛТТЫҚ АШЫТЫЛҒАН СҮТ ӨНІМДЕРІНІҢ МИКРОФЛОРАСЫ: ҮЛГІЛЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ МЕН ҚОЙ ЕТІ ҮШІН АШЫТҚЫ РЕТІНДЕ ПАЙДАЛАНУ ПЕРСПЕКТИВАСЫ

Ет өнімдерін өңдеудің ферментация процесінде белсенді метаболикалық белсенділігі бар старттық культураларады қолдану тиімді биотехнологиялық әдісі болып табылады. Бұл әдіс өнімнің қауіпсіздігін, микробиологиялық тұрақтылығын арттыруға және сақтау мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді. Әсіресе дәстүрлі ашытылған сүт өнімдерінен бөлініп алынған штаммдарды қолдану аса өзекті бағыттардың бірі болып табылады, себебі олар ферментацияға ұшыраған қой етінің дәстүрлі дәмін сақтауға және органолептикалық қасиеттерін жақсартуға ықпал етеді. Осындай штаммдарға негізделген отандық ашытқыларды әзірлеу ұлттық ет өнімдерінің ассортиментін кеңейту, импорттық культуралардан тәуелділікті азайту және қазіргі заманғы азық-түлік өнеркәсібі мен функционалдық тамақтану тұжырымдамасының талаптарына сәйкес келу үшін маңызды практикалық мәнге ие.

Зерттеудің мақсаты – әртүрлі технология бойынша дайындалған дәстүрлі ашытылған сүт өнімі – құрттың микробиологиялық құрамына салыстырмалы талдау жүргізу және бөлініп алынған бактериялар негізіндегі ашытқыларды қолдана отырып, ферментация уақытының қой етінің сапалық көрсеткіштері мен ферментациялық процестерге әсерін бағалау.

Зерттеу барысында дәстүрлі қазақтың үш түрлі құрт үлгісінен сүт қышқылды бактериялар бөлініп алынып, алдын ала идентификация жүргізілді. Ашытқы ретінде L. casei және L. lactis штаммдары пайдаланылып, олар белсенді тіршілік қабілеттілігі мен жағымды органолептикалық қасиеттерін көрсетті. Құрттан бөлінген микроорганизмдерге негізделген ашытқыны пайдалану арқылы қой етін ферментациялау технологиясы әзірленді. Ет үлгілері 4 °C температурада, 5 % тұз және 20 % ашытқы қосып, 4, 8 және 12 сағат бойы ұсталды. Нәтижелер pH төмендеуін, ылғал мен май мөлшерінің артуын, өнім құрылымының жақсаруын және ет-сүтті хош иістің қалыптасуын көрсетті. Су активтілігі қауіпсіз деңгейде қалды (Aw <0,90), бұл микробиологиялық тұрақтылықты қамтамасыз етті.

Мақалада теориялық және эксперименттік зерттеу әдістері қолданылды. Эксперименттік зерттеулер Шәкәрім университетінің профессор Қ.Ж. Амирханов атындағы тағам өнімдерінің физика-химиялық талдау зертханасында жалпыға ортақ, модификацияланған және стандартталған әдістерді қолдану арқылы жүргізілді.

Алынған нәтижелер құрттан бөлініп алынған автохтонды сүтқышқылды микроорганизмдерді қой етінен ұлттық ферменттелген ет өнімдерін өндіруде қолданудың перспективалы бағыт екенін дәлелдейді. Бұл штаммдар өнімнің сапасын, микробиологиялық қауіпсіздігін және органолептикалық сипаттамаларын жақсартуға септігін тигізеді. Болашақта ферментация технологиясын оңтайландыру және дайын өнімнің функционалдық қасиеттерін арттыруға бағытталған зерттеулер жүргізу орынды деп саналады

Түйін сөздер: *құрт, ферментация, органолептикалық көрсеткіштер, ашытқы дақылдары, лактобактериялар, қой еті, дәстүрлі өнімдер, микробиологиялық талдау.*

Сведения об авторах

Мадина Мадениетовна Шарапатова* – докторант кафедры «Биотехнологии», Торайгыров Университет города Павлодар, Республика Казахстан; e-mail: madina_szd@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-1094-8579.

Зарина Владимировна Капшакбаева – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Биотехнологии», Торайгыров Университет города Павлодар, Республика Казахстан; e-mail: z.k.87@mail.ru. ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7989-5270.

Куралай Сметхановна Исаева – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Биотехнологии», Торайгыров Университет города Павлодар, Республика Казахстан; e-mail: issayevakuralay@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4533-0188.

Авторлар туралы мәліметтер

Мадина Мадениетовна Шарапатова* – «Биотехнологии» кафедрасының докторанты, Павлодар қаласының Торайғыров Университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: madina_szd@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-1094-8579.

Зарина Владимировна Капшакбаева – PhD, «Биотехнология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Павлодар қаласының Торайғыров Университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: z.k.87@mail.ru. ORCID: **http://orcid.org/0000-0001-7989-5270.**

Куралай Сметхановна Исаева – техника ғылымдарының кандидаты, «Биотехнология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Павлодар қаласының Торайғыров Университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: issayevakuralay@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4533-0188.

Information about the authors

Madina Sharapatova* – doctoral student of the Department of Biotechnology , Toraighyrov University of Pavlodar, Republic of Kazakhstan; e-mail: madina_szd@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-1094-8579

Zarina Kapshakbayeva – PhD, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Toraighyrov University of Pavlodar, Republic of Kazakhstan; e-mail: z.k.87@mail.ru. ORCID: http://orcid.org/0000-0001-7989-5270.

Kuralay Issayeva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Toraighyrov University of Pavlodar, Republic of Kazakhstan; e-mail: issayevakuralay@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4533-0188.

Поступила в редакцию 02.06.2025
Принята к публикации 05.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-50

BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 65.59.31

М. Іліясқызы[*], Я.М. Узаков[2], Л.А. Каимбаева[3], Ш.Ы. Кененбай[4], Э.К. Асембаева[2]
[1]Казахский национальный женский педагогический университет,
A05C9Y7, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Гоголя, 114 к1
[2]Алматинский технологический университет,
A05H0E2, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Толе би, 100
[3]Казахский национальный аграрный исследовательский университет,
050010, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект Абая, 8
[4]Казахский научно-исследовательский институт пищевой промышленности,
050060, Республика Казахстан, г. Алматы, пр.Гагарина, 238 Г
*e-mail: alybayeva_m@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РОЗМАРИНА НА СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА И ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛУКОПЧЕНЫХ КОЛБАС ИЗ КОНИНЫ

Аннотация: *Цель статьи: исследовать влияние розмарина на качественные показатели полукопченой конской колбасы. Исследования показали, что порошок из розмарина обладает антиоксидантными свойствами для колбасного изделия при хранении в холодильной камере (при температуре не более 6°C). Полученные результаты свидетельствуют, что использование растительного сырья, обладающего антиоксидантными свойствами в качестве функционального и натурального ингредиента в колбасном изделии, не повлияло на цвет и текстуру продукта. Эти данные показывают о возможном использовании розмарина для улучшения окислительной стабильности полукопченой конской колбасы. Кроме того, использование растительного ингредиента повышает биологическую ценность продукта и соответствует современным тенденциям в производстве функциональных мясных изделий.*

Ключевые слова: *полукопченая колбаса из конины, розмарин, тиобарбитуровое число, кислотное число, перекисное число, сенсорные показатели колбасы*.

Введение. Конское мясо и продукты из него приобретают все большую популярность и получают широкое распространение во всем мире. Конская колбаса является одним из популярных продуктов питания среди этих продуктов. Однако при хранении качественные характеристики продукта ухудшаются из-за окисления липидов и роста микробов. Окисление липидов приводит к снижению питательных свойств, а также к изменению вкуса [1], в то время как микробиологическое загрязнение может привести к серьезным опасностям для здоровья населения и экономическим потерям в виде пищевых отравлений и порчи мяса. Таким образом, применение подходящих средств, обладающих как антиоксидантной, так и антимикробной активностью, воспринимаются как более безопасные для поддержания качества мяса, увеличения срока его хранения и предотвращения экономических потерь. Многочисленные исследования показали, что окисление липидов и рост микробов в мясных продуктах можно контролировать или минимизировать с помощью синтетических или натуральных пищевых добавок [2, 3]. Различные синтетические антиоксиданты, такие как бутилированный гидроксианизол или бутилированный гидрокситолуол, обычно используются для замедления прогорклости пищевых продуктов. Однако потребители обеспокоены безопасностью синтетических пищевых добавок. Эта обеспокоенность вызвала большой интерес к натуральным добавкам [4]. Природные добавки, обладающие антиоксидантными и

антимикробными свойствами, имеют то преимущество, что они легко принимаются потребителями, поскольку считаются натуральными. Розмарин (Rosmarinus) является натуральным ингредиентом для придания вкуса колбасам. Помимо придания вкуса продуктам, розмарин ценится за его лечебные свойства. Розмарин обладает не только ароматом, но и кладезью полезных веществ. Это растение богато антиоксидантами, в частности розмариновой и карнозиновой кислотами. Эти вещества не только придают розмарину аромат, но и полезны для здоровья [5].

В маринадах эти антиоксиданты выполняют двойную функцию. Они помогают сохранить мясо, замедляя окисление и продлевая срок хранения. Кроме того, они могут повышать общую питательную ценность продукта или блюда.

Розмарин также содержит ферменты, которые способствуют расщеплению мясных белков. Этот эффект размягчения незначителен, но может сделать конечный продукт более сочным. Посол мяса совместно со стартовыми культурами и натуральным растительным сырьем, содержащим антиоксиданты позволит улучшить вкус и текстуру маринованного мяса [6]. Биологическая активность экстрактов розмарина включает такие свойства, как противовоспалительное, противодиабетическое, гепатопротекторное и противомикробное [7] действие. Эти свойства связаны с содержанием фенольных соединений (в основном кофейной, розмариновой и карнозиновой кислот). На сегодняшний день большинство предыдущих исследований независимо друг от друга были посвящены антиоксидантной или антимикробной активности розмарина в мясных продуктах [8-11].

Цель статьи: исследовать влияние розмарина на качественные показатели полукопченой конской колбасы в процессе хранения.

2. Методы исследования

Объектами исследования являлись: конина жилованная 2-го сорта, заквасочные культуры Flora italia LC – Lactobacillus sakei, Pediococcus acidilacti, Staphylococcus carnosus; образцы полукопченых колбас из конины (рис. 1).

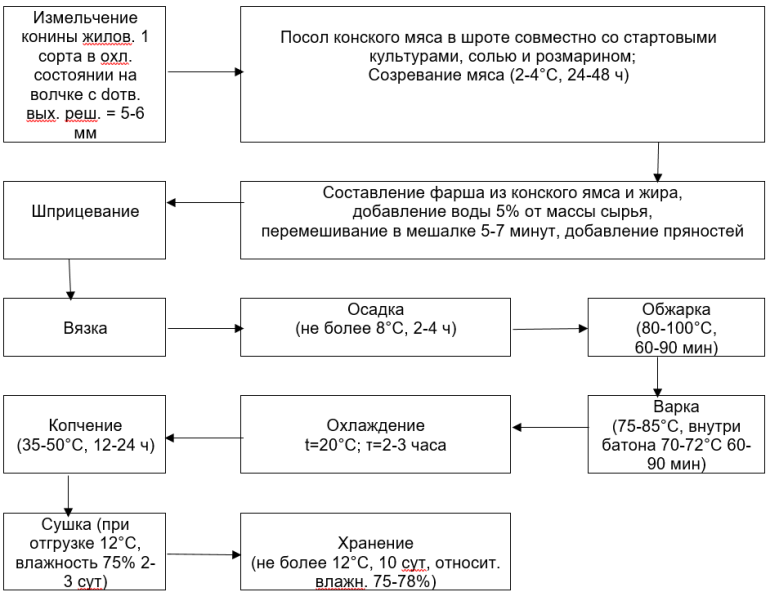


Рисунок 1 – Технологическая схема производства полукопченых колбас из конины и конского жира с использованием розмарина

Опытные образцы готовили следующим образом: производили посол фарша из конины 2-го сорта раствором поваренной соли. Температура рассола составляла температуру 4° С, плотность 1,1150 г/см^3 с содержанием хлористого натрия 15%. Количество добавляемого рассола на 100 кг мясного сырья составляло 9,6 кг. При посоле мяса добавляли нитрит натрия в количестве 7,5 грамм на 100 кг мясного сырья, заквасочные культуры и порошок розмарина. Для определения оптимального количества розмарина в рецептуре исследовали 4 варианта опытных образцов с различным уровнем введения порошка розмарина в количестве от 5 до

20% к общей массе мясного сырья. Бактериальный препарат вносили в виде закваски, в растворенном виде (в 200-250 миллилитрах воды питьевой, температурой 37°С).

Посол мяса производили в фаршемешалке до равномерного распределения раствора соли. Посоленное сырье выдерживали в полиэтиленовых тазиках при температуре помещения 2-4°С. Продолжительность выдержки всех образцов – 24 часа. В качестве контроля использовали контрольные образцы полукопченой колбасы из конины «Ароматная», выработанной по ГОСТ 31786-2012 «Колбасы полукопченые из конины. Технические условия». Заквасочная культура производит молочную кислоту, обеспечивает хорошую стабильность цвета и приятный аромат.

2.1 Оценка окисления липидов

Из выдержанного в посоле конского мяса готовили фарш полукопченых колбас; проводили формование фарша в натуральные оболочки; подвергали тепловой обработке, в том числе осадку, подсушку, копчение и варку.

Готовую колбасную продукцию хранили в течение 11 суток при температуре не более 6°С. Окислительный процесс в жировой фракции конских колбас в процессе созревания в холодильной камере изучали с помощью тиобарбитурового числа по ГОСТ Р 55810-2013 дистилляционным модифицированным методом. Образец колбасы (10 г) смешивали с 25 мл раствора трихлоруксусной кислоты (200 г/л ТХК в 135 мл/л раствора фосфорной кислоты) и гомогенизировали с использованием лабораторного гомогенизатора в течение 30 с. После фильтрации 2 мл фильтрата добавляли к 2 мл раствора тиобарбитуровой кислоты (3 г/л) в пробирке. Пробирки инкубировали при комнатной температуре в темноте в течение 20 ч; затем измеряли поглощение при длине волны 532 нм с помощью спектрофотометра UV–VIS (модель UV-1200, Shimadzu, Япония). Значение ТБЧ выражали в мг малонового альдегида на кг колбасы.

Тиобарбитуровое число (ТЧ) Х, мг МА/кг продукта, вычисляют по формуле

$$X = Д \cdot 7{,}8, \quad (1)$$

Где: Д – оптическая плотность раствора;

7,8 – коэффициент пропорциональной зависимости плотности МА от его концентрации в растворе.

Кислотное число (КЧ) определяли по ГОСТ Р 52466-2005, перекисное число – по стандартной методике с использованием хлороформного экстракта, полученного по методу В. Пиульской.

Перекисное число Х, ммоль активного кислорода /кг жира, содержащегося в пробе, вычисляют по формуле:

$$ПЧ = \frac{(V1-V2)\cdot c\cdot К\cdot 1000}{m}, \quad (2)$$

где V_1 – объем 0,01 моль/дм^3 раствора тиосульфата натрия, израсходованный на титрование испытуемого раствора, см^3;

V_2 – объем 0,01 моль/дм^3 раствора тиосульфата натрия, израсходованный на титрование контрольного раствора, см^3;

С – концентрация использованного раствора тиосульфата натрия, моль/дм^3;

К – коэффициент поправки к титру 0,01 моль/дм^3 раствора тиосульфата натрия;

1000 – коэффициент, учитывающий пересчет результата измерения в ммоль/кг;

m – масса жира в экстракте, г.

2.2 Химический анализ полукопченых колбас

После обработки и перед хранением колбасу анализировали на содержание влажности, белка и жира в соответствии с методами ГОСТ. Анализы проводились в трех экземплярах; все реагенты были аналитического качества.

Содержание влажности и белка определяли согласно ГОСТ 9793-2016. Методы определения влаги в мясных продуктах; ГОСТ 25011-2017. Методы определения белка в мясных продуктах.

Содержание жира определяли методом Сокслета, золы - методом сжигания при 550°С.

2.3 Сенсорная оценка колбас. Сенсорная оценка влияния посолочной смеси на показатели колбас выполнена профильным методом в соответствии с ГОСТ 33609-2015 «Мясо и мясные продукты. Органолептический анализ».

Интенсивность вкуса розмарина, нежность и общие показатели приемлемости колбасы были определены 5 экспертами при хранении через 7 дней. Контрольные образцы колбас не подвергались сенсорной оценке после 10 дней хранения из-за более высокого содержания бактерий в них. Восьмибалльная шкала гедонистической оценки (8 = чрезвычайно насыщенный/нежный; 7 = очень насыщенный/нежный; 6 = умеренно насыщенный/нежный; 5 = слегка насыщенный/нежный; 4 = слегка пресный/нежный; 3 = умеренно пресный/нежный; 2 = очень пресный/нежный; 1 = чрезвычайно пресный/нежный) использовался для оценки интенсивности вкуса и нежности колбасы.

*Статистический анализ***.** Все измерения были проведены в трех экземплярах (n = 3), и результаты были подвергнуты дисперсионному анализу (ANOVA) с использованием программного обеспечения SAS (SAS Institute, 1990). Различия между средними значениями определялись с помощью теста наименьшей значимой разницы, и значимость определялась при $P<0,05$.

Результаты исследований

Для определения оптимального количества порошка из розмарина в конской колбасе в опытные образцы колбасных изделий из конины 2-го сорта вносили различное количество сухого порошка из розмарина от 100 до 400 г, сформировав таким образом 4 опытных образца. Контролем служил образец конской колбасы без использования в рецептуре порошка из розмарина. Опытные колбасные изделия производили согласно технологической схеме, представленной на рисунке 1. В опытных и контрольных изделиях определяли сенсорные показатели, такие как вкус, аромат, нежность (табл. 1).

Таблица 1 – Сенсорная оценка конских полукопченых колбас, обогащенной различными концентрациями порошка из розмарина, баллы

Сенсорные показатели	Контроль	Порошок из розмарина, кг на 100 кг мясного сырья			
		0,1	0,2	0,3	0,4
Вкус	6,5	6,8	6,8	8,3	7,2
Аромат	6,6	6,8	6,9	8,2	7,1
Нежность	6,2	5,8	7,3	8,3	7,0
Общая оценка	6,4	6,4	7	8,2	7,1

Установлено, что наилучшими сенсорными показателями обладали образцы конских колбас с добавлением 300 г розмарина, получившие общую оценку 8,2 балла. Контрольный образец охарактеризован более низкими оценками и имел общую оценку 6,4 балла. Таким образом, в дальнейших исследованиях использована рецептура полукопченой конской колбасы с добавлением 0,3 кг ил 300 г розмарина на 100 кг мясного сырья (табл. 2).

Таблица 2 – Рецептурный состав колбасного фарша для производства опытных образцов полукопченой колбасы из конины

Основное сырье (несоленое), кг на 100 кг	
Конина жилованная 2-го сорта	92,0
Подгривный конский жир или жир-сырец конский или говяжий	5,0
Мука пшеничная или крахмал	3,0
Соль поваренная пищевая	2,5
Пищевые добавки и пряности	0,26
Порошок розмарина	0,3

На следующем этапе исследованы качественные показатели полукопченых колбасных изделий из конины с использованием порошка розмарина в процессе хранения до 11 дней, такие как кислотное, перекисное, тиобарбитуровое числа (рис. 1).

Установлено, что в опытном образце полукопченого колбасного изделия с порошком розмарина незначительно повысились кислотное, перекисное, тиобарбитуровое числа. Начальное значение кислотного числа составляло 1,5 мг КОН/г жира, а на 11 сутки имело значение 1,9 мг КОН/г жира.

В контрольном образце начальное значение кислотного числа составляло 1,5 мг КОН/г жира и в течение 11 дней повысилось до 2,61 мг КОН/г жира.

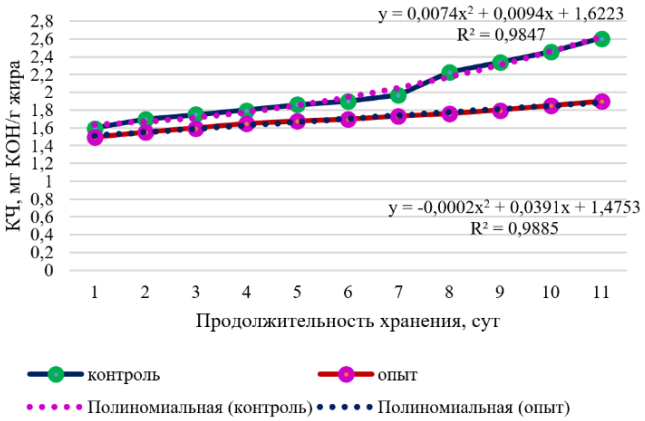


Рисунок 1 – Изменение кислотного числа при хранении опытных и контрольных конских полукопченых колбас

Значение перекисного числа у контрольных образцов составляло 1,5 ммоль и на 11 сутки достигло 28 ммоль. В тоже время в опытных образцах колбасных изделий начальное значение перекисного числа составляло 1,3 ммоль и в конце хранения составило 4,6 ммоль (рис. 2).

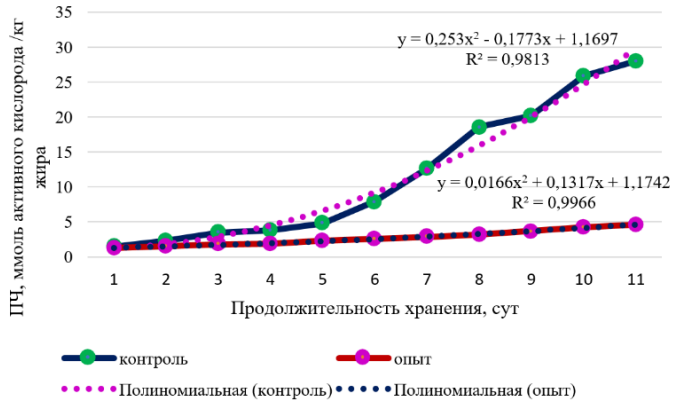


Рисунок 2 – Изменение перекисного числа при хранении опытных и контрольных конских полукопченых колбас

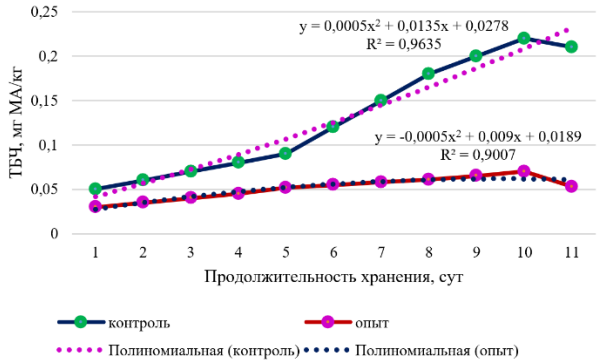


Рисунок 3 – Изменение тиобарбитурового числа при хранении опытных и контрольных конских полукопченых колбас

Анализ изменения тиобарбитурового числа в опытном и контрольном образцах при хранении в течение 11 суток показал, что в контрольном образце происходило интенсивное накопление количества малонового альдегида (МА), что свидетельствует об окислении ненасыщенных жирных кислот в фарше колбасного изделия (рис. 3). В опытном образце начальное значение тиобарбитурового числа в первые сутки хранения составляло 0,03 мг МА/кг и через 11 суток составило 0,053 мг МА/кг, а контрольном образце ТЧ составило 0,05 и 0,21 мг МА/кг.

В опытном и контрольном образцах полукопченых конских колбас изучен химический состав (табл. 3).

Таблица 3 – Химический состав полукопченых конских колбас

Образцы	Влажность, %	Белок, %	Липиды, %	Крахмал, %	Углеводы, %
Контрольный продукт	59,21	14,32	18,83	0,96	2,57
Образец с порошком из розмарина	59,15	14,68	18,13	1,08	2,75

Сравнительный анализ показал, что белка больше в опытном образце по сравнению с контрольным образцом на 0,36 %. Липидов в опытном образце меньше на 0,7%. Содержание крахмала незначительно больше в опытном образце – на 0,12%, а содержание углеводов также больше в опытном образце – на 0,18%.

Обсуждение научных результатов

Установлено, что наилучшими сенсорными показателями обладали образцы конских колбас с добавлением 300 г розмарина, получившие общую оценку 8,2 балла. Контрольный образец охарактеризован более низкими оценками и имел общую оценку 6,4 балла.

В опытном образце полукопченого колбасного изделия с порошком розмарина незначительно повысились кислотное, перекисное, тиобарбитуровое числа. Начальное значение кислотного числа составляло 1,5 мг КОН/г жира, а на 11 сутки имело значение 1,9 мг КОН/г жира. В контрольном образце начальное значение кислотного числа составляло 1,5 мг КОН/г жира и в течение 11 дней повысилось до 2,61 мг КОН/г жира. Значение перекисного числа у контрольных образцов составляло 1,5 ммоль и на 11 сутки достигло 28 ммоль. В тоже время в опытных образцах колбасных изделий начальное значение перекисного числа составило 1,3 ммоль и в конце хранения – 4,6 ммоль.

Анализ изменения тиобарбитурового числа в опытном и контрольном образцах при хранении в течение 11 суток показал, что в контрольном образце происходило интенсивное накопление количества малонового альдегида (МА), что свидетельствует об окислении ненасыщенных жирных кислот в фарше колбасного изделия. В опытном образце начальное значение тиобарбитурового числа в первые сутки хранения составляло 0,03 мг МА/кг и через 11 суток составило 0,053 мг МА/кг, а в контрольном образце ТЧ составило 0,05 и 0,21 мг МА/кг.

Сравнительный анализ показал, что белка больше в опытном образце по сравнению с контрольным образцом на 0,36 %. Липидов в опытном образце меньше на 0,7%. Содержание крахмала незначительно больше в опытном образце – на 0,12%, а содержание углеводов также больше в опытном образце – на 0,18%.

Заключение

Данные исследования показали, что розмарин обладает антиоксидантными свойствами в мясной системе колбасных изделий при хранении в холодильной камере (при температуре не более 6 °С). Полученные результаты свидетельствуют, что использование порошка из розмарина в качестве функционального и натурального ингредиента в полукопченой конской колбасе не повлияло на цвет и текстуру изделия. Эти данные свидетельствуют о возможности использования данного растительного ингредиента для улучшения окислительной стабильности полукопченой конской колбасы. Этот факт соответствует современным тенденциям рынка и запросам потребителей на натуральные продукты. Поэтому предполагается, что розмарин, как натуральное лекарственное растение, можно использовать для продления срока годности мясных продуктов, предоставляя потребителю продукты, содержащие натуральные добавки, воспринимаются как более безопасные, чем продукты синтетического происхождения.

Список литературы

1. Рыспаева У.А. Ферменттелген жартылай ысталған шұжық өнімін өндіру технологиясы / У.А. Рыспаева, Ш.Б. Байтукенова, С.Б. Байтукенова // Алматы технологиялық университетінің хабаршысы. – 2023. – № 2. – Б. 131-139. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2023-2-131-139.
2. Antioxidant and antimicrobial activities of rosemary extracts linked to their polyphenol composition / S. Moreno et al // Free Radic. Res. – 2006. – № 40. – P. 223-231. https://doi.org/10.1080/10715760500473834.

3. Antioxidant and prooxidant properties of active rosemary constituents: Carnosol and carnosic acid / O.I. Aruoma et al // Xenobiotica. – 1992. – № 22. – P. 257-268. https://doi.org/10.3109/00498259209046624.
4. Chemical composition, plant genetic differences, antimicrobial and antifungal activity investigation of the essential oil of Rosmarinus officinalis L. / A. Angioni et al // Journal of Agriculture and Food Chemistry. – 2004. – № 52. – P. 3530-3535.
5. Changes in essential oil composition and phenolic fraction in Rosmarinus offi cinalis L. var. typicus Batt / Y. Zaouali et al // Organs during growth and incidence on the antioxidant activity. Ind. Crop Prod. – 2013. – № 43. – P. 412-419.
6. Jung J.H. Effect of ripening duration and addition of rosemary powder on the quality of modified saltison sausage / J.H. Jung, K.S. Shim, D. Shin // Asian-Australasian Journal of Animal Science. – 2015. – № 28. – P. 671-676.
7. Use of rosemary (Rosmarinus officinalis L.) essential oils as a food additive to increase the shelf life of lamb / S. Smeti et al // Small Ruminant Research. – 2013. – № 113. – P. 340-345.
8. Antioxidant effects of rosemary extract and dried whey powder on the oxidative stability of sausages during 10 months of frozen storage / A.S. Stephanie et al // Meat Science. – 2002. – № 62. – P. 217-224.
9. Essid I. Effect of rosemary powder on the quality of dry ewe sausages / I. Essid, S. Smeti, N. Atti // Italian Journal of Food Science. – 2018. – № 30(4). https://doi.org/10.14674/IJFS-955.
10. Effect of rosemary extract dose on lipid oxidation, colour stability and antioxidant concentrations, in reduced nitrite liver pates / E.H.A. Doolaege et al // Meat Sci. – 2012. – № 90. – P. 925-931. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.034.
11. Rosemary extracts as inhibitors of lipid oxidation and color change in cooked turkey products during refrigerated storage / L. Yu et al // Food Sci. – 2002. – № 67. – P. 582-585. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10642.x.

References

1. Ryspaeva U.A. Fermenttelgen zhartylai ystalғan shұzhyқ өnimin өndiru tekhnologiyasy / U.A. Ryspaeva, SH.B. Baitukenova, S.B. Baitukenova // Almaty tekhnologiyalyқ universitetinің khabarshysy. – 2023. – № 2. – B. 131-139. https://doi.org/10.48184/2304-568X-2023-2-131-139. (In Kazakh).
2. Antioxidant and antimicrobial activities of rosemary extracts linked to their polyphenol composition / S. Moreno et al // Free Radic. Res. – 2006. – № 40. – R. 223-231. https://doi.org/10.1080/10715760500473834. (In English).
3. Antioxidant and prooxidant properties of active rosemary constituents: Carnosol and carnosic acid / O.I. Aruoma et al // Xenobiotica. – 1992. – № 22. – R. 257-268. https://doi.org/10.3109/00498259209046624. (In English).
4. Chemical composition, plant genetic differences, antimicrobial and antifungal activity investigation of the essential oil of Rosmarinus officinalis L. / A. Angioni et al // Journal of Agriculture and Food Chemistry. – 2004. – № 52. – R. 3530-3535. (In English).
5. Changes in essential oil composition and phenolic fraction in Rosmarinus offi cinalis L. var. typicus Batt / Y. Zaouali et al // Organs during growth and incidence on the antioxidant activity. Ind. Crop Prod. – 2013. – № 43. – R. 412-419. (In English).
6. Jung J.H. Effect of ripening duration and addition of rosemary powder on the quality of modified saltison sausage / J.H. Jung, K.S. Shim, D. Shin // Asian-Australasian Journal of Animal Science. – 2015. – № 28. – R. 671-676. (In English).
7. Use of rosemary (Rosmarinus officinalis L.) essential oils as a food additive to increase the shelf life of lamb / S. Smeti et al // Small Ruminant Research. – 2013. – № 113. – R. 340-345. (In English).
8. Antioxidant effects of rosemary extract and dried whey powder on the oxidative stability of sausages during 10 months of frozen storage / A.S. Stephanie et al // Meat Science. – 2002. – № 62. – R. 217-224. (In English).
9. Essid I. Effect of rosemary powder on the quality of dry ewe sausages / I. Essid, S. Smeti, N. Atti // Italian Journal of Food Science. – 2018. – № 30(4). https://doi.org/10.14674/IJFS-955. (In English).
10. Effect of rosemary extract dose on lipid oxidation, colour stability and antioxidant concentrations, in reduced nitrite liver pates / E.H.A. Doolaege et al // Meat Sci. – 2012. – № 90. – R. 925-931. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.034. (In English).

11. Rosemary extracts as inhibitors of lipid oxidation and color change in cooked turkey products during refrigerated storage / L. Yu et al // Food Sci. – 2002. – № 67. – R. 582-585. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10642.x. (In English).

М. Іліясқызы[1*], Я.М. Узақов[2], Л.А. Қайымбаева[3], Ш.Ы. Кененбай[4], Э.К. Асембаева[2]
[1]Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті,
A05C9Y7, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Гоголь көшесі, 114, 1-ғимарат
[2]Алматы технологиялық университеті,
A05H0E2, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Төле би көшесі, 100
[3]Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті,
050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Абай даңғылы, 8
[4]Қазақ тағам өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты,
050060, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Гагарин даңғылы, 238 Г
[*]e-mail: alybayeva_m@mail.ru

РОЗМАРИННІҢ ЖАРТЫЛАЙ ЫСТАЛҒАН ЖЫЛҚЫ ШҰЖЫҚТАРЫНЫҢ СЕНСОРЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ МЕН ҚАУІПСІЗДІК КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Бұл мақаланың мақсаты жартылай ысталған жылқы шұжығының сапалық көрсеткіштеріне розмариннің әсерін зерттеу. Зерттеу нәтижелері розмарин ұнтағы тоңазытқыш камерасында (температурасы 6 °С-тан аспаған жағдайда) сақталған шұжық өнімінде антиоксиданттық қасиеттерге ие екенін көрсетті. Алынған нәтижелерге сәйкес, шұжық өнімінде антиоксиданттық қасиеттері бар өсімдік шикізатын функционалды және табиғи ингредиент ретінде қолдану өнімнің түсі мен құрылымына әсер етпеді. Бұл деректер розмаринді жартылай ысталған жылқы шұжығының тотығу тұрақтылығын арттыру мақсатында қолдануға болатындығын дәлелдейді. Сонымен қатар, өсімдік тектес ингредиентті пайдалану өнімнің биологиялық құндылығын жоғарылатады және функционалды ет өнімдерін өндірудегі заманауи үрдістерге сай келеді.

***Түйін сөздер*:** *жартылай ысталған жылқы етінен жасалған шұжық, розмарин, тиобарбитур саны, қышқыл саны, пероксид саны, шұжықтың сенсорлық көрсеткіштері.*

M. Iliyaskyzy[1*], Y.M. Uzakov[2], L.A. Kaimbaeva[3], Sh.Y. Kenenbai[4], E.K. Asembayeva[2]
[1]Kazakh National Women's Teacher Training University,
A05C9Y7, Republic of Kazakhstan, Almaty, Gogol Street, 114, Building 1
[2]Almaty Technological University,
A05H0E2, Republic of Kazakhstan, Almaty, Tole Bi Street, 100
[3]Kazakh National Agrarian Research University,
050010, Republic of Kazakhstan, Almaty, Abai Avenue, 8
[4]Kazakh Research Institute of Food Industry,
050060, Republic of Kazakhstan, Almaty, Gagarin Avenue, 238G
[*]e-mail: alybayeva_m@mail.ru

RESEARCH OF PROPERTIES OF LACTIC ACID BACTERIA STRAINS IN THE PRODUCTION OF BOILED-SMOKED AND SEMI-SMOKED PRODUCTS FROM HORSE MEAT

This study aims to investigate the effect of rosemary on the quality indicators of semi-smoked horse sausage. The study showed that rosemary powder possesses antioxidant properties for the sausage product during storage in a refrigeration chamber (at a temperature not exceeding 6 °C). The obtained results indicate that the use of plant raw materials with antioxidant properties as a functional and natural ingredient in the sausage product did not affect its color and texture. These findings suggest the possible application of rosemary to improve the oxidative stability of semi-smoked horse sausage. In addition, the use of a plant-based ingredient increases the biological value of the product and corresponds to modern trends in the production of functional meat products.

Key words: *semi-smoked horsemeat sausage, rosemary, thiobarbiturine number, acid number, peroxide number, sensory indicators of sausage.*

Сведения об авторах

Маржан Ілиясқызы*– магистр технических наук, ст.преподаватель кафедры «Биология», Казахский национальный женский педагогический университет, Республика Казахстан, г. Алматы; e-mail: alybayeva_m@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2452-4744.

Ясин Маликович Узаков – академик НАЕН, д.т.н., профессор, Алматинский технологический университет, Республика Казахстан, г. Алматы, e-mail: uzakm@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2878-7170.

Лейла Амангелдиевна Каймбаева – д.т.н., и.о. профессора, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Республика Казахстан, г. Алматы,; e-mail: kleila1970@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5251-8026.

Шынар Кененбай – к.т.н., доцент, Казахский научно-исследовательский институт пищевой промышленности, Республика Казахстан, г. Алматы; e-mail: shinar0369@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0239-9110.

Эльмира Куандыковна Асембаева – PhD, Асс.профессор, Алматинский технологический университет, Республика Казахстан, г. Алматы; e-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7964-7736.

Авторлар туралы мәліметтер

Маржан Ілиясқызы* – техникалық ғылымдар магистрі, «Биология» кафедрасының аға оқытушысы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы; e-mail: alybayeva_m@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2452-4744.

Ясин Маликович Узақов – ҚР ҰҒА академигі, техника ғылымдарының докторы, профессор, Алматы технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы; e-mail: uzakm@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2878-7170.

Лейла Амангелдіқызы Қайымбаева – техника ғылымдарының докторы, профессор, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы; e-mail: kleila1970@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5251-8026.

Шынар Кененбай – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қазақ тағам өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы; e-mail: shinar0369@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0239-9110.

Эльмира Қуандыққызы Асембаева – PhD, қауымдастырылған профессор, Алматы технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы; e-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7964-7736.

Information about the authors

Marzhan Iliyaskyzy* – Master of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Biology, Kazakh National Women's Teacher Training University, Republic of Kazakhstan, Almaty; e-mail: alybayeva_m@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2452-4744.

Yasin Malikovich Uzakov – Academician of NAEN, Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan, Almaty; e-mail: uzakm@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2878-7170.

Leila Amangeldiyevna Kaimbaeva – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh National Agrarian Research University"=, Republic of Kazakhstan, Almaty; e-mail: kleila1970@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5251-8026.

Shynar Kenenbai – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazakh Research Institute of Food Industry, Republic of Kazakhstan, Almaty; e-mail: shinar0369@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0239-9110.

Elmira Kuandykovna Assembayeva – PhD, Associate Professor, Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan, Almaty; e-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7964-7736.

Поступила в редакцию 02.06.2025
Поступила после доработки 29.08.2025
Принята к публикации 08.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-51

BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 65.63.33

С.С. Толеубекова[1]*, Ә.Е. Әліпов[1], Д.С. Свидерская[2], Г.Т. Юсупова[3], Ж.К. Шадьярова[3]
[1]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Глинки көшесі, 20А
[2]Торайғыров университеті,
140000, Қазақстан Республикасы, Павлодар қаласы, Ломов көшесі, 64
[3]С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
010011, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы, 62
*e-mail: saltosha-sandu@mail.ru

ФУНКЦИОНАЛДЫ МАҚСАТТАҒЫ ГРЕК ЙОГУРТЫНЫҢ ОРГАНОЛЕПТИКАЛЫҚ, ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН БАҒАЛАУ

Аңдатпа: *Бұл ғылыми мақалада зертханалық жағдайда өндірілген функционалдық бағыттағы грек йогуртының сапасын бағалау нәтижелері ұсынылған. Сынақтар «Ұлттық сараптау және сертификаттау орталығы» АҚ аккредиттелген сынақ орталығында өнім сапасын мерзімді бақылау шеңберінде жүргізілді. Зерттеудің мақсаты өнімнің нормативтік құжаттама талаптарына, оның ішінде* мемлекетаралық стандарттарға (МЕМСТ) және Кеден одағының техникалық регламенттеріне (КО ТР) сәйкестігін тексеру болды. *Органолептикалық, физика-химиялық, токсикологиялық, микробиологиялық және радиациялық көрсеткіштер талданды. Сынақ нәтижелеріне сәйкес, йогурт біртекті кремді консистенцияға ие болды, оған тән ашытылған сүт дәмі мен хош иісі, сондай-ақ жидек компоненттерінің болуына байланысты күлгін түсті болды. Ақуыздың массалық үлесі 6,3% құрады, бұл белгіленген минимумнан (3,2%) асып түсті, алайда бұл деңгей грек йогуртына тән. Майдың массалық үлесі 15%-ға жетті, бұл грек йогуртына МСТ майының қосылуымен түсіндірілді. Микробиологиялық қауіпсіздікті, радионуклидтердің деңгейін және пестицидтердің қалдықтарын қоса алғанда, басқа көрсеткіштер рұқсат етілген мәндер шегінде болды. Алынған деректер өнімнің жоғары сапасы мен қауіпсіздігін көрсетеді және функционалдық өнімнің өзгешелігін айқындайды, бұл оны одан әрі өнеркәсіптік өндіру мен өткізу әлеуетін растайды.*

Түйін сөздер: *грек йогурты, МЕМСТ, Кеден одағының техникалық регламенттері, МСТ майы, ақуыз, функционалдық тағам.*

Кіріспе

Соңғы онжылдықтарда қоректік заттардың негізгі қажеттіліктерін қамтамасыз етуден басқа, адам денсаулығына пайдалы әсер ету қабілеті бар функционалды тағамдарға деген қызығушылықтың тұрақты өсуі байқалды. Осындай тағамдардың бірі-грек йогурты, ол ақуыздың жоғарылауымен және тығыз консистенциясымен ерекшеленеді, бұл оны емдік-профилактикалық тамақтану аясында тартымды етеді.

Асқазан-ішек жолдарының ауруларын, соның ішінде панкреатитті диеталық терапиядағы заманауи тәсілдерді ескере отырып, оңай сіңетін майлары бар және құрамында толық ақуыз бар өнімдерді жасау негізделген. Бұл жұмыста ашытылған сүт өнімі – жидек (қарабүлдірген) және орташа тізбекті триглицеридтер (МСТ) майы қосылған грек йогурты ұсынылған. МСТ майлары ұйқы безі ферменттерін қажет етпейтіні және асқазанда оңай сіңетіні белгілі, бұл оларды ас қорыту бұзылыстары мен мальабсорбциясы бар науқастарда таңдаулы энергия көзі етеді [1, 2].

Сонымен қатар, ақуыздың жоғарылауы (6,3% дейін) дене салмағының жоғалуымен бірге жүретін асқазан-ішек жолдарының созылмалы қабыну аурулары бар науқастардың қажеттіліктеріне негізделген. Сүт протеині, әсіресе ашытылған тағамдар түрінде, ішектің шырышты қабығын қалпына келтіруге және иммундық күйді сақтауға көмектеседі [3].

Сынақ нәтижесінде байқалған майдың және ақуыздың рұқсат етілген деңгейінің шамалы асып кетуіне қарамастан, бұл көрсеткіштер өнім құрамының ерекшеліктерін, оның функционалдық мақсатын және халықаралық ұйымдар белгілеген рұқсат етілген шекті деңгейлерді ескере отырып, рұқсат етілуі мүмкін [4]. Осы зерттеу өнімнің терапевтік бағытын ескере отырып, оның кешенді сапалық көрсеткіштерін бағалауға бағытталған.

Зерттеу әдістері

Зерттеу нысаны қарабүлдірген мен орташа тізбекті триглицеридті май (МСТ) қосылған грек йогуртының үлгісі болды, ол әрі қарай өнеркәсіптік өндірістің сапасы мен мүмкіндігін бағалау мақсатында жеке дайындалды. «Ұлттық сараптау және сертификаттау орталығы» АҚ (Өскемен қ.) аккредиттелген сынақ зертханасында мерзімді сынақтар шеңберінде жүргізілді.

Өнім органолептикалық, физика-химиялық, микробиологиялық және қауіпсіздік көрсеткіштер бойынша зерттелді. Сынақтардың барлық әдістері қолданыстағы мемлекетаралық стандарттарға (МЕМСТ) және Кеден одағының техникалық регламенттеріне сәйкес келді.

Органолептикалық көрсеткіштер (дәмі, иісі, консистенциясы, түсі) МЕМСТ 31981-2013 сәйкес дәм тату әдісімен анықталды.

Физика-химиялық параметрлер стандартты зертханалық әдістерді қолдану арқылы анықталды:

- майдың массалық үлесі – МЕМСТ 5867-90 бойынша (қышқылмен өңдеуді қолдана отырып);
- ақуыздың массалық үлесі – МЕМСТ 34454-2018 (Кьельдаль әдісі) бойынша.

Улызаттарға (қорғасын, кадмий, мышьяк, сынап) талдау МЕМСТ 26927-86 сәйкес атомдық абсорбциялық спектрометрия әдісін қолдана отырып жүргізілді.

Микотоксиндер мен пестицидтерді (афлатоксин М1, ГХЦГ, ДДТ) анықтау МЕМСТ 30711-2001 және МЕМСТ 51762-2001 бойынша хромато-масс-спектрометриямен жүргізілді.

Микробиологиялық сынақтарға мыналар кірді:

- сүтқышқылды микроорганизмдерінің санын анықтау – МЕМСТ 10444.11-2013 бойынша;
- ІТТБ, патогендік микрофлораның (сальмонеллаларды, стафилококктарды қоса алғанда) болуын бақылау – МЕМСТ 31659-2012 және МЕМСТ 10444.2-94 бойынша;
- ашытқы мен зеңді анықтау – МЕМСТ 10444.12-2013 сәйкес.

Радионуклидтердің (стронций-90, цезий-137) құрамын өлшеу МЕМСТ 32161-2013 бойынша гамма-спектрометрия әдісімен жүзеге асырылды.

Барлық сынақтар зертханалық өлшеулердің сапасын бақылауға қойылатын талаптарды сақтай отырып жүргізілді. Алынған нәтижелер «Сүт және сүт өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» КО ТР 033/2013 белгіленген нормативтермен, сондай-ақ Қазақстан Республикасының аумағында қолданылатын МЕМСТ және Санитарлық ережелер мен нормаларға сәйкес салыстырылды.

Зерттеу нәтижелері

Мөлшерден асып кеткен көрсеткіштерді, йогурттың функционалдық бағытқа арналғанымен түсіндіруге болады. Мәселен жай йогурттарда майдың массалық үлесі 10 г. көп емес болуы қажет. Ал біздің жағдайымызда бұл көрсеткіш 15 г. Өйткені МСТ майы қосылған. МСТ майының мөлшері ғылыми әдебиеттерден алынды [5]. Сол сияқты ақуыздың көлемінің де мөлшерден асқанын көреміз. Бұл йогуртты жасау технологиясына байланысты. Әдетте грек йогуртында дәстүрлі йогурттан айырмашылығы, мұнда екі есе көп ақуыз болады (кесте 1-6).

Кесте 1 – Грек йогуртының органолептикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Бақылау үлгісі	Функционалды мақсаттағы грек йогурты
Сыртқы түрі мен консистенциясы	Біртекті, шамалы тұтқыр сұйықтық, Тұрақтандырғыштар қосылған болса желе немесе крем тәрізді.	Біртекті, крем тәрізді, қарабүлдірген қосылған
Дәмі және иісі	Сүтқышқылды дәм. Тәттілендіргіш немесе қант қосылған жағдайда – тәтті.	Сүтқышқылды, қарабүлдіргеннің дәмімен
Түсі	Ақ түсті, немесе қосылған компаненттің түсіне байланысты	Қызғылт түсті, қосылған компанентке байланысты

Кесте 2 – Грек йогуртының физико-химиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Бақылау үлгісі	Функционалды мақсаттағы грек йогурты
Майдың массалық үлесі, %	10 көп емес	15,0
Ақуыздың салмақ үлесі	3,2	6,3
Титрленген қышқылдық, °Т	75	78

Кесте 3 – Грек йогуртының уытты элементтерінің көрсеткіштері (шекті деңгейі, мг/кг – көп емес)

Көрсеткіштер	Бақылау үлгісі	Функционалды мақсаттағы грек йогурты
Қорғасын	0,1	0,15
Күшәла	0,05	0,001-ден аз
Кадмий	0,03	0,014
Сынап	0,005	0,0001–ден аз
Пестицидтер:		
ГХЦГ (альфа, бета, гамма изомерлер)	0,05	анықталмады
ДДТ және оның метоболиттері	0,05	анықталмады
Микотоксиндер:		
Афлотоксин М1	0,0005	анықталмады

Кесте 4 – Грек йогуртының радионуклидтер көрсеткіштері (Бк/кг)

Көрсеткіштер	Бақылау үлгісі	Функционалды мақсаттағы грек йогурты
Стронций-90	25	3,1
Цезий-137	100	2,9

Кесте 5 – Грек йогуртының микробиологиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Бақылау үлгісі	Функционалды мақсаттағы грек йогурты
Сүтқышқылды микроағзалар, КТБ/см^3(г), көп емес	10х10^7	10х10^7 КТБ/г
ІТТБ (колиформалар), азық көлемі см^3(г) көлемде рұқсат етілмейді	0,01	Анықталмады
Патогенді, (сальмонеллалар) азық көлемі см^3(г) көлемде рұқсат етілмейді	25	Анықталмады
Стафиллококктар, S.aureus, азық көлемі см^3(г) көлемде рұқсат етілмейді	1,0	Анықталмады
Ашытқылар, КТБ/г көп емес	50	50 КТБ/г аз
Зең, КТБ/г көп емес	50	10 КТБ/г аз

Кесте 6 – Титрленген қышқылдықты бағалау

Үлгі	Сақтау уақыты (сағат)										
	0	12	24	36	48	60	62	74	86	98	100
	Титрленген қышқылдық, °Т										
Функционалды мақсаттағы грек йогурты	78	83	85	86	88	90	91	93	94	96	97
Қоспасыз грек йогурты	75	79	81	82	84	86	87	89	90	92	93
pH											
Функционалды мақсаттағы грек йогурты	4.67	4.49	4.49	4.47	4.46	4.46	4.45	4.43	4.42	4.41	4.41
Қоспасыз грек йогурты	4,66	4,55	4,54	4,52	4,51	4,51	4,50	4,48	4,47	4,45	4,43

Ғылыми нәтижелерді талқылау

МСТ майы мен қара бүлдірген қосылған грек йогуртының зерттеу үлгісінің сынақ нәтижелері оның жоғары сапасы мен көптеген нормативтік талаптарға сәйкестігін көрсетті. Әзірленген өнімнің ерекшелігі оның функционалды бағытында, диеталық тамақтануға бағытталған, атап айтқанда, панкреатит, мальабсорбция синдромы және созылмалы энтерит сияқты асқазан-ішек жолдары аурулары бар адамдар үшін.

Майдың массалық үлесінің жоғарылауы (15,0%, ≤10%) орташа тізбекті триглицеридті майдың (МСТ) қосылуымен түсіндіріледі. Бірқатар клиникалық зерттеулер МСТ биожетімділігі жоғары, өт қышқылдарының эмульсия процесіне қатысуын қажет етпейтінін және ішекте тез сіңетінін атап өтті, бұл әсіресе асқазан-ішек жолдарының патологиясында маңызды. Сонымен

қатар, МСТ диетасы ас қорыту жүйесінің шамадан тыс жүктелуінсіз пациенттердің энергетикалық жағдайын жақсартуға ықпал етуі мүмкін.

6,3% ақуыз мөлшері де ең төменгі рұқсат етілген мәннен (3,2%) асып түседі және функционалды өнімнің маңызды сипаттамасы болып табылады. Ақуыздың жоғарылауы бұлшықет массасының сақталуына, ішектің шырышты қабығының қалпына келуіне және иммундық функциялардың сақталуына ықпал етеді, бұл әсіресе созылмалы қабыну немесе сарқылу жағдайында маңызды [6].

Қорғасын құрамының (0,15 мг/кг) асып кетуіне келетін болсақ, бұл ластанудың ықтимал көздерін – шикізат сатысында да, өндіріс процесінде де қосымша зерттеуді қажет етеді. Ауыр металдардың рұқсат етілген деңгейі ұлттық және халықаралық стандарттарға байланысты өзгеруі мүмкін екенін ескеру қажет. Мысалы, кейбір елдерде сүт өнімдеріндегі қорғасынның рұқсат етілген мәні 0,2 мг/кг дейін рұқсат етіледі [7].

Ашытқы бойынша шамалы асып кетуді қоспағанда (>50 КТБ/г) микробиологиялық көрсеткіштер нормативтік талаптарға сәйкес келді. Ашытқы жасушаларының болуы микроорганизмдердің әлеуетті көзі болып табылатын жеміс қоспасын (қарабұлдірген) қолданумен байланысты болуы мүмкін. Efsa (2021) нұсқауларына сәйкес, жидектер қосылған өнімдерде патогендік микрофлора болмаған жағдайда шамалы ауытқуларға жол беріледі, бұл жағдайда расталады [8].

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижелері МСТ майы мен қарабұлдірген қосылған функционалды бағыттағы грек йогуртының жоғары сапалы әрі қауіпсіз өнім екенін көрсетті. Органолептикалық, физика-химиялық, микробиологиялық және радиациялық көрсеткіштер қолданыстағы нормативтік талаптарға сәйкес келеді. Ақуыз мөлшерінің артуы (6,3%) және МСТ май үлесінің жоғары болуы (15,0%) өнімнің функционалды қасиеттерін күшейтеді және асқазан-ішек жолдарының ауруларында диеталық тамақтану үшін қолайлы екенін дәлелдейді.

Сонымен қатар, өнім құрамындағы табиғи жидек қоспасы (қарабұлдірген) оның биологиялық құндылығын арттырып, тұтынушылық тартымдылығын күшейтеді. Микробиологиялық көрсеткіштер бойынша шамалы ауытқулар болғанымен, олар рұқсат етілген деңгейде қалып, қауіпсіздікке әсер етпейді.

Осылайша, зерттеу нәтижелері әзірленген грек йогуртының функционалды тамақтану саласында қолдануға болатынын және оның өнеркәсіптік өндіріске енгізу әлеуеті жоғары екенін айқындайды.

Әдебиеттер тізімі

1. О безопасности пищевой продукции (ТР ТС 021/2011).
2. О безопасности молока и молочной продукции (ТР ТС 033/2013)
3. Bach A.C. Medium-chain triglycerides: An update / A.C. Bach, V.K. Babayan // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2020. – № 36(5). – P. 950-962.
4. Marten B. Medium-chain triglycerides / B. Marten, M. Pfeuffer, J. Schrezenmeir // International Dairy Journal. – 2006. – № 16(11). – P. 1374-1382.
5. Dietary proteins and gut microbiota: A gateway to improved health / H.S. Shin et al // Nutrition Research Reviews. – 2015. – № 28(1). – P. 1-15.
6. Codex Alimentarius Commission. General standard for contaminants and toxins in food and feed (Codex Stan 193-1995). FAO/WHO. – 2022.
7. Nutrition Guidelines for Chronic Pancreatitis Patient Education // Digestive Health Center at Stanford Hospital and Clinics // NS 12/2012.
8. St-Onge M.P. Physiological effects of medium-chain triglycerides: Potential agents in the prevention of obesity / M.P. St-Onge, P.J. Jones // The Journal of Nutrition. – 2002. – № 132(3). – P. 329-332.
9. Protein supplementation in gastrointestinal disorders / S. De Marco, et al // Clinical Nutrition. – 2020. – № 39(5). – P. 1519-1527.
10. European Food Safety Authority (EFSA). (2021). Scientific opinion on the microbial safety of ready-to-eat foods containing raw fruits. EFSA Journal, 19(4), e06542.

References

1. O bezopasnosti pishchevoi produktsii (TR TS 021/2011). (In Russian).
2. O bezopasnosti moloka i molochnoi produktsii (TR TS 033/2013). (In Russian).

3. Bach A.C. Medium-chain triglycerides: An update / A.C. Bach, V.K. Babayan // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2020. – № 36(5). – R. 950-962. (In English).
4. Marten B. Medium-chain triglycerides / B. Marten, M. Pfeuffer, J. Schrezenmeir // International Dairy Journal. – 2006. – № 16(11). – R. 1374-1382. (In English).
5. Dietary proteins and gut microbiota: A gateway to improved health / H.S. Shin et al // Nutrition Research Reviews. – 2015. – № 28(1). – R. 1-15. (In English).
6. Codex Alimentarius Commission. General standard for contaminants and toxins in food and feed (Codex Stan 193-1995). FAO/WHO. – 2022. (In English).
7. Nutrition Guidelines for Chronic Pancreatitis Patient Education // Digestive Health Center at Stanford Hospital and Clinics // NS 12/2012. (In English).
8. St-Onge M.P. Physiological effects of medium-chain triglycerides: Potential agents in the prevention of obesity / M.P. St-Onge, P.J. Jones // The Journal of Nutrition. – 2002. – № 132(3). – R. 329-332. (In English).
9. Protein supplementation in gastrointestinal disorders / S. De Marco, et al // Clinical Nutrition. – 2020. – № 39(5). – R. 1519-1527. (In English).
10. European Food Safety Authority (EFSA). (2021). Scientific opinion on the microbial safety of ready-to-eat foods containing raw fruits. EFSA Journal, 19(4), e06542. (In English).

С.С. Толеубекова[1]*, Ә.Е. Әліпов[1], Д.С. Свидерская[2], Г.Т. Юсупова[3], Ж.К. Шадьярова[3]
[1]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, улица Глинки 20А
[2]Торайгыров университет,
140000, Республика Казахстан, г. Павлодар, улица Ломова 64
[3]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
010011, Республика Казахстан, г. Астана, проспект Жеңіс, 62
*e-mail: saltosha-sandu@mail.ru

ОЦЕНКА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГРЕЧЕСКОГО ЙОГУРТА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

В данной научной статье представлены результаты оценки качества функционального греческого йогурта, полученного в лабораторных условиях. Испытания проводились в аккредитованном испытательном центре АО «Национальный центр экспертизы и сертификации» в рамках периодического контроля качества продукции. Целью исследования являлась проверка соответствия продукта требованиям нормативной документации, в том числе межгосударственным стандартам (ГОСТ) и техническим регламентам Таможенного союза (ТР ТС). Проведен анализ органолептических, физико-химических, токсикологических, микробиологических и радиационных показателей. По результатам испытаний йогурт имел однородную кремообразную консистенцию, характерный кисломолочный вкус и аромат, а также фиолетовый цвет, обусловленный наличием ягодных компонентов. Массовая доля белка составила 6,3%, что превышает установленный минимум (3,2%), однако этот показатель типичен для греческого йогурта. Массовая доля жира достигла 15%, что обусловлено добавлением в состав греческого йогурта масла МСТ. Остальные показатели, включая микробиологическую безопасность, содержание радионуклидов и остаточных количеств пестицидов, находились в пределах допустимых значений. Полученные данные свидетельствуют о высоком качестве и безопасности продукта и определяют уникальность функционального продукта, что подтверждает его потенциал для дальнейшего промышленного производства и реализации.

Ключевые слова: *греческий йогурт, ГОСТ, технические регламенты Таможенного союза, масло МСТ, белок, функциональный продукт.*

S. Toleubekova[1]*, A. Alipov[1], Д.С. Свидерская[2], G.T. Yussupova[3], Z.K. Shadyarova[3]
[1]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey city, Glinka street, 20A
[2]Toraighyrov University,
140000, Republic of Kazakhstan, Pavlodar city, Lomov street, 64
[3]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
010011, Republic of Kazakhstan, Astana city, Zhenis Avenue, 62
*e-mail: saltosha-sandu@mail.ru

ASSESSMENT OF ORGANOLEPTIC, PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF GREEK YOGURT OF FUNCTIONAL ORIENTATION

This scientific article presents the results of assessing the quality of Greek yogurt of a functional orientation produced in laboratory conditions. The tests were carried out within the framework of periodic product quality control at the accredited testing center of JSC «National Center for expertise and certification». The aim of the study was to verify the product's compliance with the requirements of regulatory documentation, including interstate standards and technical regulations of the Customs Union. Organoleptic, physico-chemical, toxicological, microbiological and radiation indicators were analyzed. According to the test results, the yogurt had a homogeneous creamy consistency, with a characteristic fermented milk taste and aroma, as well as a purple color due to the presence of Berry components. The mass fraction of protein was 6.3%, which exceeded the established minimum (3.2%), however, this level is typical for Greek yogurt. The mass fraction of fat reached 15% this was explained by the addition of MCT fat to Greek yogurt. Other indicators, including Microbiological Safety, radionuclide levels and pesticide residues, were within the permissible values. The data obtained indicate the high quality and safety of the product, and the functionality determines the specifics of the product, which confirms the potential for its further industrial production and sale.

Key words: *Greek yogurt, interstate standard, technical regulations of the customs union, MCT fat, protein, functional food.*

Сведения об авторах

Сандугаш Сайлауовна Толеубекова* – кандидат технических наук, ассоциированный профессор; кафедра «Биоинженерные системы», Шәкәрім университет, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: saltosha-sandu@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2658-9514.

Әділ Ерболұлы Әліпов – магистрант 2 курса ОП 7М07501 «Стандартизация и сертификация»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: lpov.dl@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-9694-585X.

Диана Сергеевна Свидерская – кандидат технических наук, профессор, кафедра «Архитектура и дизайн», Торайгыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан; e-mail: sofilsev@rambler.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3329-1126.

Гаухар Тургалиевна Юсупова – PhD, старший преподаватель, кафедра «Стандартизация, метрология и сертификация», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: gauhar_20_90@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1722-1294.

Шадьярова Жазира Куспановна - PhD, старший преподаватель; кафедра «Стандартизация, метрология и сертификация», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: zhazira_shadyarova@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9379-5735.

Авторлар туралы мәліметтер

Сандугаш Сайлауовна Толеубекова* – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, «Биоинженерлік жүйелер» кафедрасы, Шәкәрім университеті, Семей қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: saltosha-sandu@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2658-9514.

Әділ Ерболұлы Әліпов – 7М07501 «Стандарттау және сертификаттау» білім беру бағдарламасының 2 курс магистранты, Шәкәрім университеті; Семей қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: lpov.dl@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-9694-585X.

Диана Сергеевна Свидерская – техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Сәулет және дизайн» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: sofilsev@rambler.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3329-1126.

Гаухар Тургалиевна Юсупова – PhD; аға оқытушы, «Стандарттау, метрология және сертификаттау» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: gauhar_20_90@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1722-1294.

Жазира Куспановна Шадьярова – PhD, аға оқытушы; «Стандарттау, метрология және сертификаттау» кафедрасы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: zhazira_shadyarova@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9379-5735.

Information about the authors

Sandugash Toleubekova* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Bioengineering Systems, Shakarim University, Semey city, Republic of Kazakhstan; e-mail: saltosha-sandu@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2658-9514.

Adil Alipov – master of the 2nd year of the specialty «Standardization and certification», Shakarim University, Semey city, Republic of Kazakhstan; e-mail: lpov.dl@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0003-9694-585X.

Diana Sviderskaya – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of «Architecture and design», Toraighyrov University, Pavlodar city, Republic of Kazakhstan; e-mail: sofilsev@rambler.ru. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3329-1126.

Gaukhar Turgalievna Yussupova – PhD; Senior Lecturer; Department of Standardization, Metrology and Certification, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana city, Republic of Kazakhstan; e-mail: gauhar_20_90@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1722-1294.

Zhazira Kuspanovna Shadyarova – PhD; Senior Lecturer; Department of Standardization, Metrology and Certification, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana city, Republic of Kazakhstan; e-mail: zhazira_shadyarova@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9379-5735.

Редакцияға енуі 18.07.2025
Өңдеуден кейін түсуі 09.09.2025
Жариялауға қабылданды 10.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-52

BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 68.41.29

Ж.Х. Какимова[*], К.С. Жарыкбасова[2], А.Е. Бепеева[1], Г.О. Мирашева[1], Г.Ш. Бейсембаева[1]
[1]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, область Абай, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
[2]Alikhan Bokeikhan University,
071400, Республика Казахстан, область Абай, г. Семей, ул. Мәңгілік Ел, 11
*e-mail: zhaynagul.kakimova@mail.ru

ПОСТБИОТИЧЕСКИЕ ПРОДУЦЕНТЫ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Аннотация: *В статье предоставлены результаты исследования апробации штамм-ориентированного подхода к первичному отбору продуцентов постбиотиков на основе морфолого-тинкториального скрининга культур, выделенных из трёх контрастных матриц: кумыса, шубата и квашеной капусты. Установлено, что для кумыса характерно доминирование дрожжевого морфотипа (*Saccharomyces *s.l.), для шубата выявлены совместно палочковые и кокковые молочнокислые бактерии при участии дрожжей; для квашеной капусты – молочнокислых микроорганизмов с мукоидными фенотипами, указывающими на экзополисахаридогенез. По совокупности микроморфологических и колониальных признаков сформирована коллекция штаммов-кандидатов с потенциалом получения постбиотических фракций целевой направленности (антиоксидантной, противовоспалительной, иммуномодулирующей), технологически совместимых с молочными продуктами. Практическая значимость результатов заключается в том, что предложенный первичный скрининг позволяет быстро и воспроизводимо выделять релевантные штаммы-кандидаты, формирует чёткие критерии перехода к подтверждающей идентификации (биохимические и молекулярные методы) и задаёт исходные ориентиры для подбора параметров получения постбиотических фракций, полученные данные могут быть непосредственно использованы для планирования последующих лабораторных и технологических испытаний при разработке функциональных молочных продуктах. Ограничения морфологического подхода (таксономическая точность до уровня рода) компенсируются намеченной валидацией инструментальными методами. Итогом работы является методически выверенная основа для дальнейшей селекции продуцентов постбиотиков и подготовки к их внедрению в технологии функциональных молочных продуктов.*

Ключевые слова*: постбиотики, молочнокислые микроорганизмы, кумыс, шубат, квашеная капуста.*

Введение

Исследования, направленные на получение постбиотиков как основы для создания биологически активной добавки нового поколения, предназначенной для целенаправленного улучшения функциональных свойств молочных продуктов, являются научно и технологически значимым направлением. В отличие от живых пробиотических культур, постбиотические фракции (метаболиты и/или компоненты клеточных структур) характеризуются повышенной

стабильностью к термическим и pH-нагрузкам, предсказуемостью дозирования и благоприятным профилем безопасности. Это делает их перспективными ингредиентами для молочных продуктов, для которых необходимы длительный срок хранения, заданные функциональные свойства и минимизация рисков, связанных с использованием жизнеспособных микроорганизмов [1-3].

Постбиотики представляют собой фракции, получаемые из штаммов микроорганизмов, способных в ходе метаболизма синтезировать и секретировать биологически активные соединения. К основным продуцентам относят пробиотические представители родов Lactobacillus и Bifidobacterium, а также культуры Streptococcus thermophilus, Propionibacterium shermanii (=P. freudenreichii subsp. shermanii) и дрожжи Saccharomyces boulardii. Эти микроорганизмы, естественно обитающие в различных экосистемах, включая желудочно-кишечный тракт человека, либо задействованные в ферментации пищевых продуктов, формируют широкий спектр метаболитов – от короткоцепочечных жирных кислот и пептидов (в т.ч. бактериоцинов) до ферментов, экзополисахаридов и иных биоактивных молекул [4-8].

Функциональная активность постбиотических фракций носит выраженно штамм-специфический характер: качественный/количественный профиль экзополисахаридов, органических кислот, пептидов/бактериоцинов и фрагментов клеточной стенки определяется параметрами культивирования, инактивации и фракционирования. В условиях производства молочных продуктов, предъявляющих высокие требования к стабильности, управляемости кислотонакопления, текстурообразованию и микробиологической безопасности, необходим штамм-ориентированный подход, связывающий «штамм → процесс → состав постбиотика → функциональный эффект» и обеспечивающий серийную воспроизводимость [9].

С практической точки зрения важное значение имеют два взаимосвязанных этапа:

– селекция перспективных продуцентов среди молочнокислых микроорганизмов и дрожжей с учётом технологических критериев;

– стандартизация методики получения постбиотиков.

Такой подход снижает вариабельность между сериями, упрощает контроль качества и способствует последующему введению ингредиента в технологии производства кисломолочных продуктов [10, 11].

Для расширения штаммового разнообразия источниками изолятов в данной работе были выбраны традиционные ферментированные продукты – кумыс, шубат и квашеная капуста. Отобранные объекты охватывают ключевые роды пробиотических микроорганизмов – палочковые Lactobacillus s.l., кокковые Lactococcus/Leuconostoc и дрожжи Saccharomyces s.l. – которые служат источниками постбиотических фракций с целевыми эффектами (иммуномодуляция, антагонизм к патогенам, улучшение реологических свойств). Такой выбор объектов позволяет включить в скрининг как палочковые, так и кокковые молочнокислые бактерии, а также дрожжи, что повышает вероятность отбора продуцентов с заданным постбиотическим профилем для производства функциональных молочных продуктов.

Цель исследования – разработать и апробировать штамм-ориентированный алгоритм отбора продуцентов постбиотиков (изолятов из кумыса, шубата и квашеной капусты) для производства функциональных молочных продуктов.

Методы исследования

В качестве объектов исследования использованы традиционные ферментированные продукты: кумыс и шубат (производитель Saumal Deluxe), а также квашеная капуста (ферментационный сок).

Культуральный метод исследования.

Выделение бактериальных культур осуществляли из ферментационного сока квашеной капусты, а также из кумыса и шубата. Для растительной матрицы 1,0 мл самопроизвольно отделившегося сока отбирали стерильно, готовили десятикратные разведения в стерильной дистиллированной воде и наносили поверхностным способом на агаризованную питательную среду (СПА); чашки инкубировали при 22 °C до появления изолированных колоний в течение 72 часов, после чего выполняли последовательные штриховые пересевы (не менее трёх циклов) до получения морфологически однородной культуры. Пробы кумыса и шубата после гомогенизации высевали методом штриха на СПА и инкубировали при 30 °C; учёт роста проводили через 48 ч с последующим выделением чистых культур многократным штриховым пересеянием при тех же условиях. При проведении

исследования соблюдались асептические условия, чистоту изолятов контролировали по однородности колоний и микроскопической картине.

Метод идентификации штаммов микроорганизмов.

Для первичной идентификации бактерий выполняли Грам-окрашивание с последующей микроморфологической оценкой на световом микроскопе LEICA DM500 (объектив ×40). Мазки готовили из культур возрастом <24 ч. Суспензию микроорганизмов наносили бактериологической петлёй на обезжиренное предметное стекло, высушивали на воздухе и фиксировали. Далее на мазок поместили полоску фильтровальной бумаги и нанесли 3 капли карболового раствора генцианвиолета с выдержкой около 3-х минут, затем слили краску, убрали фильтровальную бумагу и сполоснули мазок дистиллированной водой в течение 30 секунд. После этого обрабатывали раствором Люголя в течение2 минут и вновь промывали в течение 10 секунд. Обесцвечивание проводили 96%-ным этанолом до полного обесцвечивания в течение 60 секунд, после чего мазок промывали дистиллированной водой в течение 2 минут и докрашивали фуксином Циля в течение 2 минут. Окончательную промывку проводили дистиллированной водой в течение 1 минуты и высушивали на воздухе. Грам-реакцию (Gram+/-), форму и характер расположения клеток регистрировали по окрашенным препаратам с помощью микроскопа LEICA DM500.

Результаты исследования

На основании проведённых экспериментальных исследований выполнены идентификация и отбор перспективных штаммов пробиотических микроорганизмов, обладающих высоким потенциалом для получения постбиотиков с антиоксидантной, противовоспалительной и иммуномодулирующей активностью. Полученные результаты будут использованы для дальнейшей апробации и стандартизации методик выделения постбиотиков, а также для разработки технологий функциональных молочных продуктов.

На первом этапе проведены исследования по культивированию и выделению штаммов молочнокислых микроорганизмов из ферментированных продуктов (кумыс, шубат, квашеная капуста).

На рисунке 1 представлена колония микроорганизмов, выделенных из кумыса, на среде питательной агар (СПА), 30 °С, 48 ч.

Рисунок 1 – Колония микроорганизмов, выделенных из кумыса

На рисунке 2 представлена колония микроорганизмов, выделенных из шубата, на среде питательной агар (СПА), 30 °С, 48 ч.

Рисунок 2 – Колония микроорганизмов, выделенных из шубата

На рисунке 3 представлена колония микроорганизмов, выделенных из квашеной капусты, на среде питательной агар (СПА), 22 °С, 72 ч.

Рисунок 3 – Колония микроорганизмов, выделенных из квашеной капусты

Характеристика колоний штаммов молочнокислых микроорганизмов, выделенных из ферментированных продуктов, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Морфологическая характеристика колоний изолятов по трём продуктам

Наименование продукта	Основной морфологический тип	Диаметр, мм	Профиль	Описание края	Поверхность/ цвет	Особые признаки
Кумыс	дрожжевой морфотип (при наличии единичных молочнокислых микроорганизмов)	1-3	куполообразные, плотные	ровный	гладкая, кремовая	отдельные мелкие колонии молочнокислых микроорганизмов; отсутствие плёнки
Шубат	смесь молочнокислых микроорганизмов (палочковые/кокковые) с участием дрожжей	0,5-3	низковыпуклые и умеренно выпуклые	ровный/ слегка волнистый	гладкая; местами полублестящая	локальные мукоидные очаги; колонии различного диаметра в одной чашке
Квашеная капуста	молочнокислых микроорганизмов; присутствуют мукоидные фенотипы (возможные EPS-продуценты)	0,5-1,5 (микроколонии <0,5)	преимущественно низковыпуклые	ровный; мукоидных - волнистый	гладкая или мукоидная, беловато-кремовая	склонность к слиянию вдоль линий штриха; ранние точечные колонии

На основании проведенных исследований сформирована коллекция культур, выделенных из кумыса, шубата и квашеной капусты; по совокупности морфолого-тинкториальных признаков выполнена предварительная таксономическая идентификация до уровня рода: для кумыса характерно преобладание дрожжевого морфотипа, для шубата – сочетание палочковых и кокковых LAB с участием дрожжей, для квашеной капусты – LAB с мукоидными фенотипами (вероятные продуценты экзополисахаридов).

На следующем этапе исследований проведена идентификация штаммов молочнокислых микроорганизмов.

Идентификацию культур, выделенных из кумыса и шубата выполняли по совокупности тинкториальных и морфологических признаков: Грам-окраска и световая микроскопия (LEICA DM500, ×40) в сочетании с анализом макроморфологии колоний на СПА (30 °C, 48 ч).

Идентификацию выделенных из квашеной капусты культур выполняли по совокупности тинкториальных и морфологических признаков: Грам-окраска и световая микроскопия (LEICA DM500, ×40) в сочетании с анализом макроморфологии колоний на агаризованной среде СПА при 22 °C (инкубация 72 ч).

Результаты исследования представлены на рисунках 4-6.

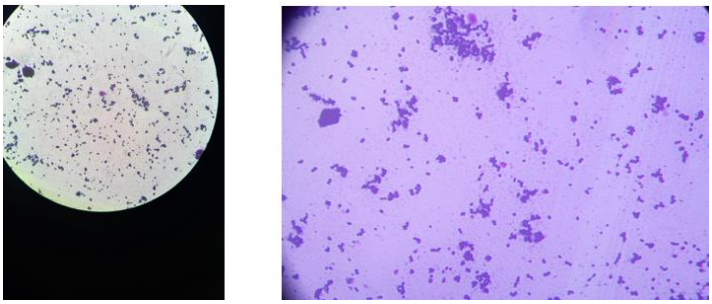


Рисунок 4 – Микрофотография мазка кумыса, окрашенного по Граму (×40)

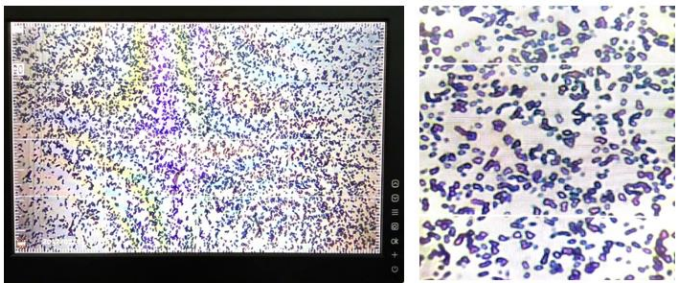


Рисунок 5 – Микрофотография мазка шубата, окрашенного по Граму (×40)

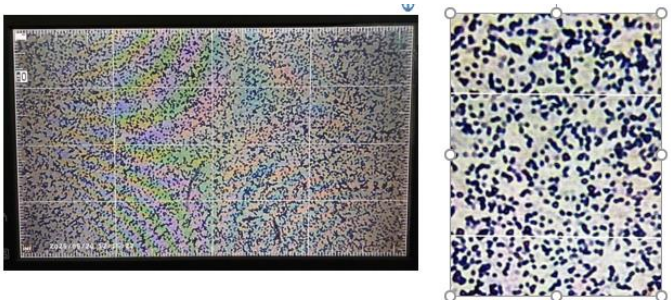


Рисунок 6 – Микрофотография мазка квашеной капусты, окрашенного по Граму (×40)

На микрофотографиях (рис. 4-6) видны грамположительные палочки и кокки, располагающиеся одиночно, диплококками и короткими цепочками; спорообразование и подвижность в пределах световой микроскопии не отмечены. Совокупность признаков соответствует молочнокислым бактериям: палочковые формы совместимы с *Lactobacillus* s.l., кокковые – с *Lactococcus/Leuconostoc*; в препаратах кумыса возможны единичные дрожжевые клетки.

Обсуждение научных результатов

Морфологический анализ колоний на неспецифической агаризованной среде (СПА) показал воспроизводимые различия между объектами и обеспечил первичную дифференциацию культур до уровня диагностических групп. На рисунках 1, 2 и 3 приведены изображения колоний, полученных из кумыса, шубата и квашеной капусты при стандартизированных режимах инкубации, а сводные количественно-качественные признаки (диаметр, профиль, край, поверхность и особые признаки) представлены в таблице 1. Эти данные используются как первый этап для отбора штаммов-кандидатов с требуемым технологическим потенциалом.

Как видно из рисунка 1 и таблицы 1 в кумысе преобладают кремовые куполообразные колонии диаметром 1-3 мм спустя 48 ч при 30 °C. Края ровные, поверхность гладкая, структура плотная. Такой фенотип характерен для дрожжей (Saccharomyces) и согласуется с ожидаемым вкладом дрожжевой фракции в ароматобразование и газонакопление в молочных ферментациях. Отмечены единичные мелкие колонии молочнокислых бактерий, плёнка на поверхности отсутствует, что указывает на отсутствие выраженного плёночного дрожжевого роста. В совокупности признаки подтверждают дрожжевой профиль кумыса на этапе первичного высева и показывают целесообразность проведения дальнейших тестов инактивации и контроля отсутствия жизнеспособных клеток при получении дрожжевых постбиотических фракций.

Как видно из рисунка 2 и таблицы 1 в шубате наблюдается широкий диапазон диаметров колоний (0,5-3 мм) и смешанный рельеф (низко- и умеренно выпуклые колонии) при ровном или слегка волнистом крае; поверхность преимущественно гладкая, местами полублестящая. Локальные мукоидные очаги указывают на присутствие экзополисахарид-образующих изолятов. Такая картина типична для сосуществования палочковых и кокковых молочнокислых бактерий с участием дрожжей и удобна для подбора культур: палочковые изоляты дают быстрый темп кислотонакопления, кокковые потенциально вносят вклад в накоплении экзополисахаридов.

Как видно из рисунка 3 и таблицы 1 в квашеной капусте преимущественно отмечаются низко-выпуклые колонии 0,5-1,5 мм с ровным краем у гладких форм и волнистым краем у

мукоидных, поверхность беловато-кремовая; характерна склонность к слиянию вдоль линий штриха и присутствие ранних точечных микроколоний. Комплекс признаков указывает на доминирование молочнокислых бактерий с мукоидными фенотипами (вероятные продуценты экзополисахаридов, чаще Leuconostoc), что технологически значимо для текстуроформирования и стабилизации молочных продуктов (увеличение вязко-пластических характеристик, снижение синерезиса).

Выявленные макропризнаки позволяют рационально сузить пул изолятов для технологического тестирования и подбора условий получения постбиотических фракций: дрожжевые изоляты кумыса – кандидаты для получения β-глюкан/маннан-содержащих фракций; молочнокислые бактерии шубата – для органокислотно-пептидных и бактериоцин-содержащих фракций; мукоидные молочнокислые бактерии квашеной капусты – для фракций экзополисахаридов, улучшающих структуру молочных продуктов. Таким образом, данные рисунков 1, 2, 3 и таблицы 1 являются первым этапом отбора продуцентов с заданной технологической совместимостью.

Как видно из рисунка 4 в кумысе преобладают грамположительные палочки и кокки (≈0,8–1,5 мкм), располагающиеся одиночно, парами и в коротких цепочках; спорообразование и подвижность в пределах световой микроскопии не выявлены. Колонии преимущественно изолированные, округлые, беловато-кремовые, гладкие, с ровным краем и низкой выпуклостью, локально наблюдаются небольшие слияния. Совокупность признаков соответствует молочнокислым микроорганизмам палочкового и коккового типа, вероятны представители родов Lactobacillus/Lacticaseibacillus и Lactococcus, признаки, характерные для Leuconostoc (выраженная мукоидность), выражены слабее. Дополнительно в кумысе фиксируются дрожжи: овальные клетки с почкованием и гладкие куполообразные кремовые колонии (≈1–3 мм), что совместимо с родом Saccharomyces.

Таким образом, выявленная конфигурация микробного сообщества (молочнокислые микроорганизмы палочкового и коккового типа при участии дрожжей) согласуется с типичным процессом молочнокислой ферментации кумыса. Бактерии обеспечивают кислотонакопление и базовый ароматический профиль, тогда как дрожжи (Saccharomyces) способствуют газообразованию и летучих компонентов аромата при невысокой вероятности выраженного образования экзополисахаридов. Для прикладной селекции целесообразно применить в первую очередь палочковые молочнокислые микроорганизмы с устойчивой кинетикой подкисления и кокковые молочнокислые микроорганизмы с потенциалом бактериоциногенеза, а дрожжевые изоляты рассматривать как источники постбиотических фракций при обязательной верификации штаммов и подтверждении активности инструментальными и молекулярно-генетическими методами.

Как видно из рисунка 5 в шубате преобладают грамположительные палочки и кокки (≈0,8-1,8 мкм), располагающиеся одиночно, попарно и короткими цепочками, спорообразование и подвижность в пределах световой микроскопии не выявлены. Колонии преимущественно округлые, беловато-кремовые, гладкие, с ровным краем и низкой выпуклостью, локально отмечаются плотные скопления и отдельные мукоидные очаги с тенденцией к слиянию. Совокупность признаков указывает на LAB-сообщество: палочковая фракция соответствует Lactobacillus (в т.ч. Lacticaseibacillus, Levilactobacillus), кокковая – совместима с Lactococcus/Enterococcus (морфологически неразличимы без дополнительных тестов), мукоидные колонии типичны для Leuconostoc spp.

Таким образом, микробное сообщество шубата представляет собой смешанную консорцию молочнокислых микроорганизмов, в которой палочковые Lactobacillus обеспечивают выраженное кислотонакопление, а кокковые Lactococcus/Enterococcus и мукоидные Leuconostoc свидетельствуют о потенциале экзополисахаридогенеза, что обосновывает подбор культур и преобладание штаммов-кандидатов для текстуроформирования с последующей верификацией биохимическими и молекулярными методами.

Как видно из рисунка 6 в квашеной капусте совокупность признаков указывает на доминирование молочнокислой микрофлоры: гладкие низко-выпуклые колонии с короткими палочками/коккобациллами соответствуют лактобациллам (Lactobacillus s.l.), вероятно представителям групп Lactiplantibacillus и/или Levilactobacillus, мукоидные скопления типичны для экзополисахарид-образующих кокков Leuconostoc/Weissella.

Таким образом, микробиота квашеной капусты характеризуется доминированием молочнокислых микроорганизмов палочкового типа при заметном участии экзополисахарид-образующих кокков, что указывает на высокий потенциал получения экзополисахарид-содержащих постбиотических фракций, перспективных для текстуроформирования и стабилизации молочных продуктов (повышение вязко-пластических свойств, снижение синерезиса).

Заключение

В данной работе апробирован штамм-ориентированный подход к первичному отбору продуцентов постбиотиков, основанный на морфолого-тинкториальном скрининге культур, выделенных из трёх контрастных матриц (кумыс, шубат, квашеная капуста). Получены чистые культуры, выполнена предварительная идентификация до уровня рода и сформирована коллекция штаммов микроорганизмов для производства функциональных молочных продуктов. По совокупности признаков установлено, что для кумыса характерно доминирование дрожжевого морфотипа (Saccharomyces s.l.), для шубата – смешанное сообщество палочковых и кокковых молочнокислых микроорганизмов с участием дрожжей, для квашеной капусты – молочнокислых микроорганизмов с мукоидными фенотипами (вероятные продуценты экзополисахаридов).

Практическая значимость результатов состоит в том, что уже на этапе скрининга сформирована поэтапная система отбора штаммов для целенаправленного получения постбиотических фракций: дрожжевые изоляты кумыса – потенциальный источник β-глюкан/маннан-содержащих фракций; молочнокислые микроорганизмы шубата – органокислотно-пептидных и бактериоцин-содержащих фракций; мукоидные молочнокислые микроорганизмы квашеной капусты – экзополисахаридной фракции для текстуроформирования и стабилизации молочных продуктов. Такой профиль открывает возможности для разработки функциональных молочных продуктов с прогнозируемыми реологическими и микробиологическими характеристиками, а также с ожидаемыми антиоксидантными, противовоспалительными и иммуномодулирующими эффектами.

В целом полученные данные создают доказательную основу для схемы «штамм → процесс → состав постбиотика → функциональный эффект» и служат отправной точкой для масштабируемой, воспроизводимой и безопасной интеграции постбиотических ингредиентов в технологии функциональных молочных продуктов.

Список литературы

1. Корниенко Е.А. Пробиотики, постбиотики и парапробиотики / Е.А. Корниенко // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2022. – № 205(9). – С. 240-250.
2. Хавкин А.И. Кисломолочные продукты и постбиотики / А.И. Хавкин, Т.А. Ковтун // РМЖ. Мать и дитя. – 2023. – Т. 6, № 4. – С. 417-424.
3. Рожкова И.В. Постбиотики как потенциальные компоненты кисломолочных продуктов с функциональными свойствами / И.В. Рожкова, В.А. Леонова, А.В. Бегунова // Молочная промышленность. – 2022. – № 3. – С.16-18.
4. Бегунова А.В. Оценка потенциала пропионовокислых бактерий для получения постбиотиков / А.В. Бегунова, Н.А. Жижин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2022. – № 4. – С. 102-112.
5. Characterisation of the probitic potential of Lactiplantibacillus plantrum K16 and its ability to produce the postbiotic metabolite γ-aminobutyric acid / L. Diez-Gutiérrez et al // Journal of Functional Foods. – 2022. – Vol.97. https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105230.
6. A refined medium to enhance the antimicrobial activity of postbiotic produced by Lactiplantibacillus plantarum RS5 / M.F. Ooi et al // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11. https://doi.org/10.1038/s41598-021-87081-6.
7. Fermentation Optimization for Co-production of Postbiotics by Bifidobacterium Lactis BB12 in Cheese Whey / S. Amiri et al // Waste and Biomass Valorization. – 2021. – Vol.12. – P. 5869-5884.
8. Cuevas-González P.F. Postbiotics and parabitics: From concepts to applications / P.F. Cuevas-González, A.M. Liceaga, J.E. Aguilar-Toalá // Food Research International. – 2020. – Vol. 136. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109502.
9. Postbiotics: a perspective on their quantification / G. Vinderola et all // Frontiers in Nutrition. – 2025. https://doi.org/ 10.3389/fnut.2025.1582733.

10. Paraprobiotics and postbiotics: concepts and potential applications in dairy products / C.P. Barros et al // Current Opinion in Food Science. – 2020. – Vol. 32. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.003.
11. Development and properties of functional yoghurt enriched with postbiotic produced by yoghurt cultures using cheese whey and skim milk / S. Sadighbathi et al // Frontiers. – 2023. – Vol. 14. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1276268.

References

1. Kornienko E.A. Probiotiki, postbiotiki i paraprobiotiki / E.A. Kornienko // Ehksperimental'naya i klinicheskaya gastroehnterologiya. – 2022. – № 205(9). – S. 240-250. (In Russian).
2. Khavkin A.I. Kislomolochnye produkty i postbiotiki / A.I. Khavkin, T.A. Kovtun // RMZH. Mat' i ditya. – 2023. – T. 6, № 4. – S. 417-424. (In Russian).
3. Rozhkova I.V. Postbiotiki kak potentsial'nye komponenty kislomolochnykh produktov s funktsional'nymi svoistvami / I.V. Rozhkova, V.A. Leonova, A.V. Begunova // Molochnaya promyshlennost'. – 2022. – № 3. – S.16-18. (In Russian).
4. Begunova A.V. Otsenka potentsiala propionovokislykh bakterii dlya polucheniya postbiotikov / A.V. Begunova, N.A. Zhizhin // Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya. – 2022. – № 4. – S. 102-112. (In Russian).
5. Characterisation of the probitic potential of Lactiplantibacillus plantrum K16 and its ability to produce the postbiotic metabolite γ-aminobutyric acid / L. Diez-Gutiérrez et al // Journal of Functional Foods. – 2022. – Vol.97. https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105230. (In English).
6. A refined medium to enhance the antimicrobial activity of postbiotic produced by Lactiplantibacillus plantarum RS5 / M.F. Ooi et al // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11. https://doi.org/10.1038/s41598-021-87081-6. (In English).
7. Fermentation Optimization for Co-production of Postbiotics by Bifidobacterium Lactis BB12 in Cheese Whey / S. Amiri et al // Waste and Biomass Valorization. – 2021. – Vol.12. – R. 5869-5884. (In English).
8. Cuevas-González P.F. Postbiotics and parabitics: From concepts to applications / P.F. Cuevas-González, A.M. Liceaga, J.E. Aguilar-Toalá // Food Research International. – 2020. – Vol. 136. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109502. (In English).
9. Postbiotics: a perspective on their quantification / G. Vinderola et all // Frontiers in Nutrition. – 2025. https://doi.org/ 10.3389/fnut.2025.1582733. (In English).
10. Paraprobiotics and postbiotics: concepts and potential applications in dairy products / C.P. Barros et al // Current Opinion in Food Science. – 2020. – Vol. 32. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.003. (In English).
11. Development and properties of functional yoghurt enriched with postbiotic produced by yoghurt cultures using cheese whey and skim milk / S. Sadighbathi et al // Frontiers. – 2023. – Vol. 14. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1276268. (In English).

Материалы подготовлены в рамках научного проекта грантового финансирования ИРН AP26198315 «Научно-практические аспекты разработки технологии функциональных молочных продуктов на основе БАД нового поколения».

Ж.Х. Какимова[1*], К.С. Жарыкбасова[2], А.Е. Бепеева[1], Г.О. Мирашева[1], Г.Ш. Бейсембаева[1]
[1]Шәкәрім Университет,
071412, Қазақстан Республикасы, Абай облысы, Семей қаласы, Глинки көшесі, 20А
[2]Alikhan Bokeikhan University,
071400, Қазақстан Республикасы, Абай облысы, Семей қаласы, Мәңгілік Ел көшесі, 11
*e-mail: zhaynagul.kakimova@mail.ru

ФУНКЦИОНАЛДЫ СҮТ ӨНІМДЕРІНЕ АРНАЛҒАН ПОСТБИОТИКАЛЫҚ ПРОДУЦЕНТТЕР

Мақалада үш түрлі контрастты матрицадан – қымыз, шұбат және ашытылған қырыққабаттан бөлінген мәдениеттерге негізделген постбиотик өндірушілерді бастапқы іріктеуге штамм-бағытталған тәсілдің морфологиялық-тинкториалдық скринингі бойынша апробация нәтижелері ұсынылған. Қымыз үшін Saccharomyces s.l. саңырауқұлақ морфотипінің үстемдігі анықталса, шұбатта ашытқылар қатысқан күйде таяқшалы және кокктық сүтқышқылды бактериялары бірге табылды; сондай-ақ ашытылған қырыққабаттан экзополисахаридогенезге тән мукоидты фенотиптер бойынша сүтқышқылды микроорганизмдері

анықталды. Микроморфологиялық және колониялық белгілердің қосындысы бойынша мақсатқа бағытталған (антиоксидантты, қабынуға қарсы, иммуномодуляциялық) постбиотикалық фракцияларды алу әлеуеті бар, сүт өнімдерімен технологиялық тұрғыдан үйлесімді кандидат-штаммдар коллекциясы қалыптастырылды. Нәтижелердің практикалық маңыздылығы – ұсынылған бастапқы скрининг релевантты кандидат-штаммдарды жылдам және қайталанушылықпен іріктеуге мүмкіндік береді, растайтын идентификацияға (биохимиялық және молекулалық әдістер) өту критерийлерін анықтайды, сондай-ақ постбиотикалық фракцияларды алу параметрлерін таңдауда бастапқы бағытты белгілейді. Алынған мәліметтер функционалды сүт өнімдерін әзірлеу кезінде зертханалық және технологиялық сынақтарды жоспарлауға тура қолданылуы мүмкін. Морфологиялық тәсілдің шектеулері (таксономиялық дәлдік тек реттік деңгейде) аспаптық әдістермен болжамды валидация арқылы өтеледі. Жұмыстың қорытындысы – постбиотик өндірушілерді іріктеу және оларды функционалды сүт өнімдері технологиясына енгізуге даярлау бойынша әдістемелік тұрғыдан негізделген база болып табылады.

Түйін сөздер: *постбиотиктер, сүтқышқылды бактериялары, қымыз, шұбат, ашытылған қырыққабат.*

Zh. Kakimova[1*], K. Zharykbasova[2], A. Bepeyeva[1], G. Mirasheva[1], G. Beisembayeva[1]
[1]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Abai region, Semey city, Glinki street, 20A
[2]Alikhan Bokeikhan University,
071400, Republic of Kazakhstan, Abai region, Semey city, Mangilik street, 11
*e-mail: zhaynagul.kakimova@mail.ru

POSTBIOTIC PRODUCERS FOR FUNCTIONAL DAIRY PRODUCTS

This study presents the results of testing a strain-oriented approach for the primary selection of postbiotic producers. The approach employs a morphological-tintorial screening of cultures isolated from three contrasting matrices: kumis, shubat, and sauerkraut. For kumis, a dominance of the yeast morphotype (Saccharomyces s.l.) was observed; in shubat, both rod-shaped and coccoid lactic acid bacteria were detected alongside yeasts; and in sauerkraut, lactic acid microorganisms exhibited mucoid phenotypes indicative of exopolysaccharide production. Based on combined micromorphological and colony characteristics, a collection of candidate strains was assembledthese show potential to yield postbiotic fractions with targeted functional properties (antioxidant, anti-inflammatory, immunomodulatory) and are technologically compatible with dairy products. The practical significance lies in the rapid and reproducible identification of relevant candidate strains by the proposed primary screening. It also establishes clear criteria for progressing to confirmatory identification (using biochemical and molecular methods) and defines initial parameters for producing postbiotic fractions. The findings can be directly applied in planning subsequent laboratory and technological trials for the development of functional dairy products. While the morphological approach is limited to genus-level taxonomic precision, this is addressed through planned validation using instrumental methods. Overall, this work provides a methodologically sound foundation for further selection of postbiotic producers and their integration into functional dairy product technologies.

Key words: *postbiotic, lactic acid microorganisms, kumis, shubat, sauerkraut.*

Сведения об авторах

Жайнагуль Хасеновна Какимова* – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Биоинженерлік жүйелер», Шәкәрім университет, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: zhaynagul.kakimova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3501-3042.

Клара Сауыковна Жарыкбасова – доктор технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Прикладная биология», Alikhan Bokeikhan University, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: Klara_zharykbasova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2027-3183.

Айгерим Ергалиевна Бепеева – PhD; старший преподаватель кафедры «Биоинженерлік жүйелер», Шәкәрім Университет, г. Семей, Республика Казахстан, Қазақстан Республикасы; e-mail: bepeyeva1987@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0097-8466.

Гульмира Оразбековна Мирашева – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Биоинженерлік жүйелер», Шәкәрім Университет, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: gulmira_mir@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4286-4563.

Галия Шамшихановна Бейсембаева – PhD студент кафедры «Пищевой технологии», Шәкәрім Университет, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: beysembaeva69@mail.ru.

Авторлар туралы мәліметтер

Жайнагуль Хасеновна Какимова* – техника ғылымдарының кандидаты, «Биоинженерлік жүйелер» кафедрасының қауымдастырылған профессор, Семей қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: zhaynagul.kakimova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3501-3042.

Клара Сауыковна Жарыкбасова – техника ғылымдарының докторы, «Прикладная биология» кафедрасының қауымдастырылған профессор, Alikhan Bokeikhan University, Семей қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: Klara_zharykbasova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2027-3183.

Айгерим Ергалиевна Бепеева – PhD; «Биоинженерлік жүйелер» кафедрасының аға оқытушы, Шәкәрім Университет, Семей қаласы, Қазақстан Республикасы Қазақстан Республикасы; e-mail: bepeyeva1987@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0097-8466.

Гульмира Оразбековна Мирашева – техника ғылымдарының кандидаты, «Биоинженерлік жүйелер» кафедрасының қауымдастырылған профессор, Семей қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: gulmira_mir@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4286-4563.

Галия Шамшихановна Бейсембаева – Тамақ технологиясы кафедрасының PhD студенті, Шәкәрім Университет, Семей қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: beysembaeva69@mail.ru.

Information about the authors

Zhaynagul Kakimova* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Department of Bioengineering Systems», Shakarim University, Semey city, Republic of Kazakhstan; e-mail: zhaynagul.kakimova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3501-3042.

Klara Zharykbasov – Doctor of Technical Science, Associate Professor of «Applied biology», Alikhan Bokeikhan University, Semey city, Republic of Kazakhstan; e-mail: Klara_zharykbasova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2027-3183.

Aigerim Bepeyeva – PhD, senior lecture of «Department of Bioengineering Systems», Shakarim University, Semey city, Republic of Kazakhstan; e-mail: bepeyeva1987@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0097-8466.

Gulmira Mirasheva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Department of Bioengineering Systems», Shakarim University, Semey city, Republic of Kazakhstan; e-mail: gulmira_mir@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4286-4563.

Galiya Beisembayeva – PhD student of Department of Food Technology, Shakarim University, Semey city, Republic of Kazakhstan; e-mail: beysembaeva69@mail.ru.

Поступила в редакцию 07.07.2025
Поступила после доработки 03.09.2025
Принята к публикации 10.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-53

МРНТИ: 33.15.29

BY 4.0
Check for updates

А. Шонғалова, Е. Отунчи, Е. Дмитриева, А. Умирзаков, А. Кемелбекова*
«Физика-техникалық институты» ЖШС, Satbayev University,
050032, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Ибрагимов к-сі, 11
*e-mail: a.kemelbekova@sci.kz

MOS_2 ЖӘНЕ НИКЕЛЬМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН КОМПОЗИТТІК КРИСТАЛДАРЫН АЛУ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: *Бұл жұмыста молибден дисульфиді (MoS_2) және никельмен модификацияланған MoS_2 гибридті наноқұрылымдары (Ni/MoS_2) екі түрлі әдіспен яғни, химиялық газ фазалық тұндыру және магнетронды шашырату арқылы синтезделіп, олардың құрылымдық және морфологиялық қасиеттері жан-жақты зерттелді. Синтезделген үлгілердің беткі морфологиясы мен микроқұрылымын бағалау үшін сканерлеуші электронды микроскопия, элементтік құрамын анықтау үшін энергия-дисперсиялық рентгендік спектроскопия, ал кристалдық құрылымымен фазалық сәйкестіктігі Раман спектроскопиясы көмегімен талданды. Сканерлеуші электронды микроскопия талдауы қабатталған материалдарға тән алтыбұрышты симметриялы жоғары кристалды үшбұрышты кристалдардың түзілуін анықтады. Элементтік карталау молибден мен күкірттің таралуын, ал гетероқұрылымда никельдік қабаттың біркелкі таралуын растады. Раман спектрлері MoS2 қабатының түзілуін көрсететін Δ ≈ 25,8 см-1 қашықтығы бар E2g ~380 см-1 және A1g ~406 см-1 тән тербеліс модаларын көрсетсе, ал гетероқұрылымда MoS2 екі фазасының көрсеткіштері дәлел болды. Осы нәтижелер алынған материалдардың құрылымын, қасиеттерін және фазалық құрамын басқару арқылы синтез шарттарын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде материалдарды болашақта сенсорлық жүйелерде, оптоэлектрондық құрылғыларда, сутек эволюциясы реакциясында және басқа да каталитикалық процестерде қолдану мүмкіндігін кеңейтеді. Сонымен қатар, Ni модификациясы MoS_2 материалдарының функционалдық сипаттамаларын жақсартып, олардың көпсалалы қолданбалы бағыттарда әлеуетін арттырады.*

Түйін сөздер: *молибден дисуьфиді, химиялық газ тұндыру, магнетронды тұндыру, екіөлшемді материалдар, гибридті құрылым.*

Кіріспе

Молибден дисульфиді (MoS_2) – оптикалық және электрлік қасиеттері қабаттар санына тәуелді 1,2-1,9 эВ диапазонындағы жолақ саңылаулары бар қабатты 2D жартылай өткізгіш материал [1]. MoS_2 басқа екі өлшемді материалдарға қарағанда бірнеше артықшылыққа ие. Оның қабаттарының арасы кең болғандықтан, иондарды жақсы ұстап тұрады. Сонымен қатар, ол электр тоғына жақсы өткізгіш (қарсылығы төмен), электрохимиялық жағынан белсенді, әрі тұрақтылығы жоғары, сол себепті литий-ионды және натрий-ионды аккумуляторларда кеңінен қолданылады. Ал егер MoS_2 1T түрінде болса, онда ол металл сияқты қасиетке ие болады. Бұл оның қолдану мүмкіндіктерін одан әрі арттырады [2]. Бұл қабаттар арасында әлсіз Ван-дер-Ваальс күштері әсер етеді, бұл материалды қабаттап бөлуге мүмкіндік береді. Бір қабатты 2H-MoS_2 ~1.8 эВ болатын тікелей тыйым салынған аймаққа ие. Ал көп қабатты немесе көлемді MoS_2 ~1.2 эВ болатын жанама тыйым салынған аймаққа ие [3]. Керемет иондық өткізгіштікке және үлкен теориялық меншікті сыйымдылыққа байланысты MoS_2 суперконденсатордағы электродтық материалдар ретінде де пайдаланылуы мүмкін [4].

Кристалды MoS_2 қабаттық құрылымға ие [5]. Бастапқыда, механикалық жолмен қабатталған бір қабатты MoS_2 қолданылып, өріс әсерлі транзисторлар (ӨӘТ) жасалды. Бұл құрылғылар салыстырмалы түрде жоғары қозғалғыштықты (200 см²/В·с дейін) және өте жоғары "қосу/өшіру" коэффициентін (1 × 10^8 дейін) көрсетті [6]. ӨӘТ туралы алғашқы есептерден көп ұзамай, механикалық түрде алынған MoS_2 негізінде фототранзистор жасалды [6]. Бұл фототранзистордың фотожауаптылығы шамамен 7.5 × 10^{-3} А/Вт болды және артқы

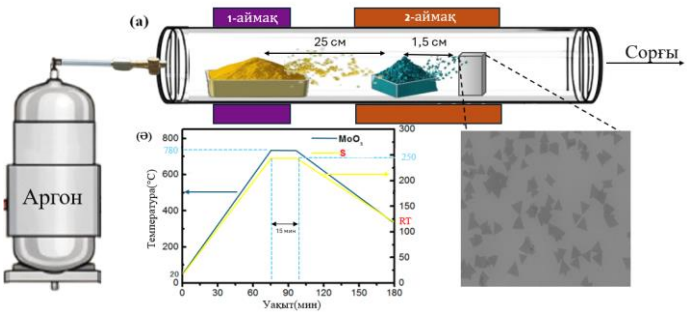
қақпа арқылы берілетін электр өрісімен реттелуі мүмкін еді [8]. Механикалық жолмен қабатталған үлгілерде қабықшаның қалыңдығын және морфологиясын бақылау өте нашар; бұл үлгілер кездейсоқ бағытталған қабыршақтардан тұрады, олардың ішінде бір қабаттысы аз мөлшерде кездеседі. Қабатталған үлгілерде ең көп таралғаны – бірнеше қабатты қабыршақтар, және бірнеше ғылыми топтар дәл осындай бірнеше қабатты өтпелі металл дихалькогенидтерінің электрлік және оптикалық қасиеттерін әртүрлі құрылғыларда, мысалы, өріс әсерлі транзисторларда [9], фототранзисторларда [10] және газ датчиктерінде [11] зерттелінуде. Химиялық газ тұндыру синтезі қабыршақтау әдісімен салыстырғанда атомдық қабаттарды жақсырақ басқаруға мүмкіндік беретін тиімді балама болып табылады. Соңғы жиырма жылда екі өлшемді молибден дисульфидке энергия сақтау саласындағы жоғары қасиеттеріне байланысты үлкен қызығушылық танытылып келеді. MoS_2 құрамында көптеген белсенді күкірт шеттері болғанымен, оның кейбір беткі аймақтарының белсенді емес болуы өткізгіштік пен тиімділікті шектейді [12]. Ni көптеген электрохимиялық процестерде, соның ішінде батареяларда, сутек өндіру реакцияларында және суперконденсаторларда тиімді электрокатализатор ретінде әрекет етеді. Mo орнына әртүрлі атом радиусы мен валенттік электрондары бар Ni атомының енуі MoS_2 кристалдық құрылымын бұзады, нәтижесінде жазықтықтағы электрон таралуы жақсарады. Бұл өз кезегінде электрлік қасиеттерді реттеудің тиімді әдісі болып табылады және суперконденсаторлық өнімділікті арттырады [13]. Сондықтан бұл мақалада біз MoS_2 құрылымына никель қосу арқылы қосымша белсенді орталарды арттыруды көздедік. Бұл үшін магнетронды тұндыру әдісі қолданылды, себебі бұл әдіс арқылы тұндырылатын материалдың мөлшері мен құрамын дәл бақылауға болады, ал тұндыру параметрлерін (қуат, импульс жиілігі, камера қысымы және т.б.) өзгерту арқылы қабыршақтардың морфологиясы мен құрылымын реттеуге болады [14-15].

Тәжірибелік бөлім

MoS_2 үлгісін синтездеу

Синтезге бастапқы реагенттер – молибден триоксиді (MoO_3, 99,9%, Sigma Aldrich) және күкірт (S, 99,9%, Sigma Aldrich) қолданылды. Химиялық газ тұндыру (ХГТ) құрылғысында (ТОО Bes Saiman, Қазақстан) аргон газының (Ar, 99,99%, Ихсан газ) қатысында синтез жүрді. Үлгілерді кремнийдің бетіне синтезделді. Органикалық ластануларды жою үшін кремний төсенішін сілтілі-сабын ерітіндісінде өңделіп, кейін деионизацияланған сумен мұқият шайылды. Кейін 30 °C температурада изопропил спиртінде 10 минут бойы ультрадыбыстық тазалау құрылғысында өңделді. Соңғы кезеңде дәл осындай жағдайда ацетонда ультрадыбыстық тазалау жүргізілді.

1-суретте MoS_2 үлгісін алу барысы көрсетілген. MoS_2 химиялық газ тұндыру әдісімен синтезделді. Молибден триоксиді және реакциялық аймақта кварц ыдыстарында орналастырылды. Бірінші аймақта күкірт орналастырылып, қыздыру температурасы 250 °C болды, ал екінші аймақта MoO_3 780 °C температурада қыздырылып, ұстау уақыты 15 минутты құрады. Келтірілген параметрлерді қолданар алдында алу әдісі алдыңғы мақалада зерттелген [16]. Аргон газының 220 см³/мин ағыны күкірт пен MoO_3 буларын кремний төсенешіне тасымалдап, олардың өзара әрекеттесіп, MoS_2-нің тұнуына жағдай жасайды. Күкірт пен MoO_3 арақашықтығы 25 см, ал MoO_3 пен кремний субстратының арақашықтығы 1,5 см болды. Мұндай кеңістіктік конфигурация ХГТ пеші жағдайында кремний төсенішінің бетінде жұқа MoS_2 қабықшаларының өсуіне оңтайлы жағдай туғызды. Әрі қарай мақаланың мәтінінде бұл үлгілер MoS_2 деп аталатын болады.

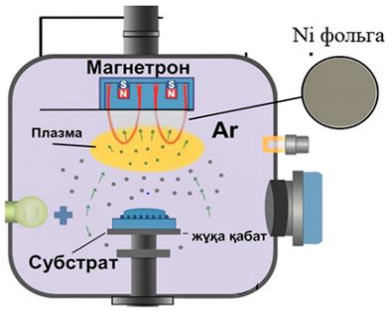


Сурет 1 – MoS_2 үлгісін алу схемасы

а) ХГТ пешіндегі кремний субстратында тұндырылған молибден прекурсорының сульфиризация процесі;
ә) температура-уақыт диаграммасы

Ni/MoS_2 үлгісін синтездеу

Ni/MoS_2 үлгілерін алу екі кезеңнен тұрды. Бірінші кезеңде магнетронды тұндыру (ARC sputtering system, ARCI6M362, АҚШ) көмегімен жүзеге асырылды. 2-суретте бірінші кезеңде никель жұқа қабықшасын магнетронды тұндыру әдісімен алу схемасы келтірілген.



Сурет 2 – Никель жұқа қабатын магнетронды тұндыру схемасы

Никель фольгадан (99,9%) жасалған нысана жасалынды, бұл оның ары қарай Ni/MoS_2 композитін алудағы алғашқы қадам. Магнетронды тұндыруда вакуум деңгейі 3×10^{-3} Торр таңдалды, себебі бұл деңгейдегі вакуум қабаттау процесін тиімді жүргізуге мүмкіндік берді. Аргон газының ағыны 15 $см^3$/мин таңдалды, себебі аргон инертті газ ретінде плазманың тұрақтылығын қамтамасыз етіп, реакцияларды бөгемей, қажетті қабаттарды тұндыру процесін жеңілдетті. Қуаты 20 Вт бастапқыда таңдалды, себебі бұл қуат мөлшері материалды жеткілікті түрде жылытуды және булану немесе төсеніште тұндыру процесін қамтамасыз ету үшін тиімді болды. Әрбір материал үшін қажетті қуат мөлшері оның булану температурасына, молекулалық құрылымына және басқа да факторларға байланысты таңдалады. 10 минуттық уақыт интервалы таңдалды, себебі бұл уақыт ішінде материалдың жеткілікті түрде тұндырылып, жұқа қабаттың қалыптасуына мүмкіндік береді.

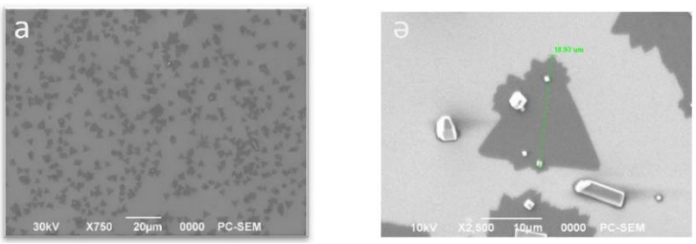
Магнетронды тұндыру әдісі арқылы алдымен никель қабатын кремний төсенішінде қондырып алынды (2-сурет). Таңдалынған тұндыру параметрілері бізге жұқа және біркелкі қабатты алуға мүмкіндік берді. Алынған никель қабаты шамамен 20 нм құрайды. Екінші кезеңде қондырылған никель жұқа қабатының үстіне ХГТ арқылы екі аймақты пайдаланып алғашқыда көрсетілген параметрлерді қолдана отырып, аргон газы қатысымен сульфиризация процессі жүргізілді. Нәтижесінде кремний төсенішінде Ni/MoS_2 композиті түзілді. Әрі қарай мақаланың мәтініде бұл үлгілер Ni/MoS_2 деп аталатын болады.

Үлгілерді талдау

Раман спектроскопиялық өлшеулер (LabRAM HR Evolution & Omega Scope, Horiba) бөлме температурасында, толқын ұзындығы 532 нм құрайтын лазердің көмегімен жүзеге асырылды. Сканерлеуші электронды микроскоп (JSM-6490LA, JEOL, Жапония) беттік морфологиялық зерттеулер үшін пайдаланылды.

Нәтижелер мен талдаулар

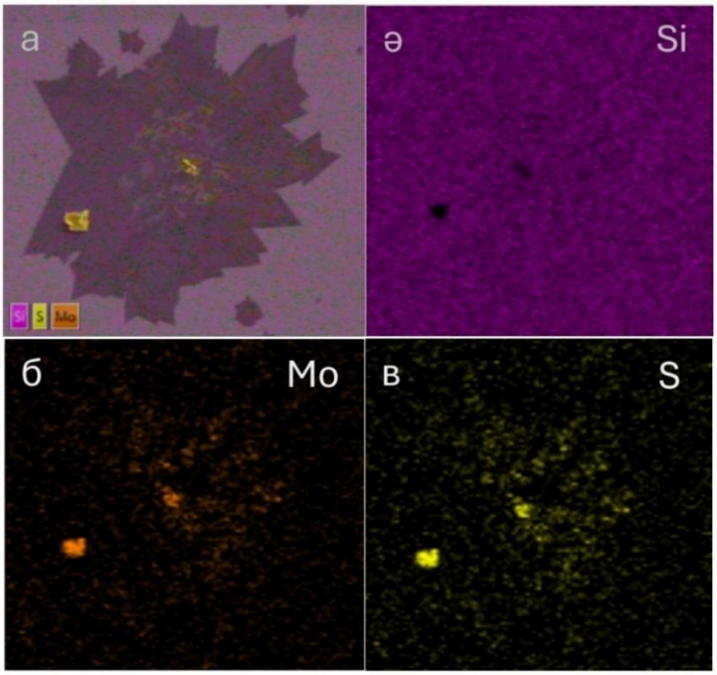
3-суретте синтезделген үлгінің морфологиясын көрсететін кескіндер көрсетілген. 750× үлкейту кезінде (3а-сурет) үлгі құрылымының жалпы көрінісі көрсетілген, онда субстраттың бетіне таралған бірнеше үшбұрышты пішінді кристалдар анық көрінеді. Жеке кристалдардың өлшемдері бірнеше жүз нанометрден 6 мкм-ге дейін өзгереді, бұл біртекті өсуді және материалдың кристалдылығының жоғары дәрежесін көрсетеді. Белгілі бір аумақтардағы ядролардың жоғары тығыздығы бастапқы компоненттердің біркелкі таралуын немесе реакция аймағындағы жергілікті жағдайлардың өзгеруін, мысалы, температура немесе әрекеттесуші заттардың концентрациясын көрсетуі мүмкін.



Сурет 3 – MoS_2 үлгісінің беткі морфологиясының кескіндері:
а) 750 есе үлкейту, ә) 2500 есе үлкейту

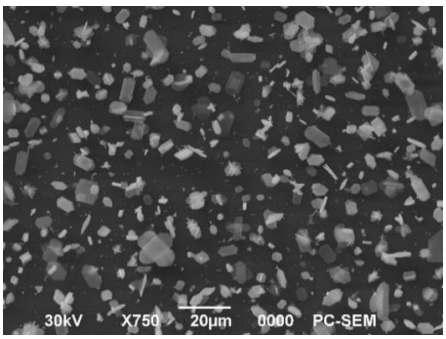
2500 есе үлкейту кезінде жеке үшбұрышты кристалдардың егжей-тегжейлі құрылымын көруге болады (3ә-сурет). Анық анықталған түйіршіктер шекаралары және біртекті кристалдық беттер материалдың қабатты құрылымын көрсетеді және MoS_2 кристалдық торында алтыбұрышты симметрияның болуын растайды. Үшбұрышты және көп қырлы кристалдардың түзілуі бу фазасынан химиялық тұндыру кезінде анизотропты өсу ерекшеліктерімен байланысты. MoS_2 түзілу кезінде молибден мен күкірт атомдары алтыбұрышты қабаттарда орналасады және олардың өсу жылдамдығы әр түрлі бағытта болуы мүмкін. Молибденнің артық мөлшерімен кристалдар үшбұрышты пішінді қалыптастыруға бейім, ал компоненттердің біркелкі таралуымен құрылым алтыбұрышқа жақындай түседі [17].

4-суретте ЭДС талдауымен алынған MoS_2 үлгісінде элементтердің таралуы көрсетілген (~50 мкр). Карталау жүргізілген аумақта Mo сигналының жоғары қарқындылығы кристалдардың өсу аймақтарында шоғырланған, бұл молибден дисульфидінің түзілуін растайды (4ә сурет). Қарқындылықтың градиентті таралуы MoS_2 қабаттарының қалыңдығында болуы мүмкін ауытқуларды көрсетеді, бұл реагенттердің шектеулі жеткізілуі кезіндегі өсу кинетикасына байланысты болуы мүмкін. 4б – сурет күкірттің таралуын көрсетеді, ол молибденмен салыстырғанда диффузиялық сипатта таралған. Бұл әртүрлі аймақтардағы құрам ауытқуларын немесе субстратта тұнған аморфты күкірт қоспаларының болуын көрсетуі мүмкін [18].

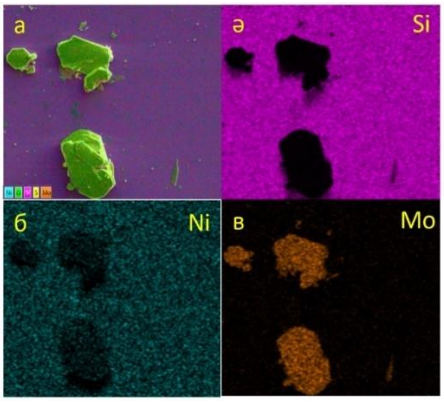


Сурет 4 – ЭДС көмегімен алынған MoS_2 үлгісіндегі элементтердің таралу картасы
а) зерттелген аумақ; ә) зерттелген аумақтағы Si негізіндегі төсеніш элементтік таралуы;
б) молибден элементінің таралуы; в) күкірт элементінің таралуы

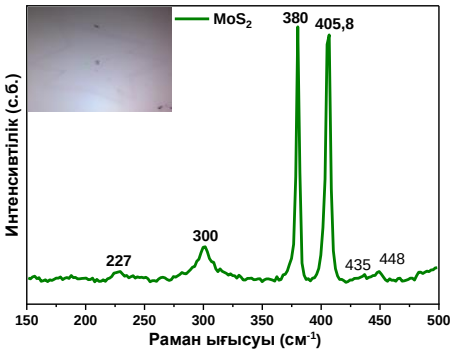
Ni/MoS_2 үлгісінің морфологиясының кескіні 5-суретте көрсетілген. Таза MoS_2-мен салыстырғанда мұнда кристаллдардың басым бөлігінің пішіні алты бұрышты түзегені көрініп тұр. Алты бұрышты кристаллдар MoS_2 фазасына қатысты. 6-суретте Ni/MoS_2 үлгісіндегі элементтердің таралуы келтірілген. Никель қабаты негізінен астыңғы бөлікке біркелкі таралған түрде көрінеді. Mo және S элементтерінің таралу карталары бір-біріне сәйкес келеді. Картография арқылы әрбір элементтің (Mo, S, Ni) концентрациясын сандық түрде бағалауға болады, бұл MoS_2 мен Ni арасындағы өзара әрекеттесу аймақтарын анықтауға мүмкіндік береді. Никельдің біркелкі таралуы астындағы қабаттың өткізгіштік қасиетін жақсартса, үстіңгі қабаттағы MoS_2 кристалдары белсенді беткі ауданның ұлғаюына ықпал етеді. СЭМ картографиясы арқылы алынған мәліметтер MoS_2 құрылымының Ni жұқа қабатына өсу механизмін түсінуге болады [19].



Сурет 5 – Ni/MoS_2 үлгісінің беткі морфологиясының кескіндері



Сурет 6 – ЭДС көмегімен алынған Ni/MoS_2 үлгісіндегі элементтердің таралу картасы
а) зерттелген аумақ; ә) зерттелген аумақтағы төсеніштің элементі; б) никель элементінің таралуы;
в) молибден элементінің таралуы; г) күкірт элементінің таралуы

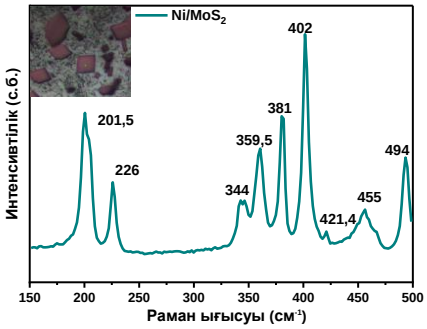


Сурет 7 – MoS_2 үлгісінің Раман спектрі

Раман спектрінің нәтижелеріне сүйенсек (7 сурет), ең жоғары қарқындылықтағы 380 $см^{-1}$ және 406 $см^{-1}$ шыңдары E_{2g} және A_{1g} модаларына сәйкес келеді, бұл 2H- MoS_2 фазасына тән [20]. A_{1g} және E_{2g} модалары арасындағы айырмашылықтың шамамен 26 $см^{-1}$ болуы көпқабатты MoS_2 үлгілеріне тән [21]. Металдық 1T-MoS_2 фазасына тән ~150-230 $см^{-1}$ аралығындағы шыңдар бұл спектрде байқалмайды, бұл оның болмауын немесе өте аз мөлшерде болуын көрсетеді. 227 $см^{-1}$ аймағындағы қосымша шың MoO_3 қосылыстары 200–300 $см^{-1}$ диапазонында айналу және иілу тербелістерін береді [22], сондықтан 227 $см^{-1}$ жолақ α-MoO_3 немесе жартылай қалпына келген MoO_{3-x} сияқты молибден оксидтерінің болуын білдіреді. 300 $см^{-1}$ шыңы кремний төсенішінің екінші реттік акустикалық модасына (2TA) сәйкес келеді [18].

8 – суретте Ni-дің жұқа қабықашасына синтезделген молибдендисульфидінің Раман спектрі келтірілген. Әдеби деректерге жүгінсек, MoS_2 үшін (λ = 532 нм) 2H-MoS_2 құрылымының негізгі модаларына ≈383 $см^{-1}$ (E_{2g})және 408 $см^{-1}$ (A_{1g}) шыңдары сәйкес келеді [20, 23]. Үлгінің спектрінде 381 және 402 $см^{-1}$ маңында айқын шыңдар анықталды, бұл мәндер жоғарыда аталған модаларға жақын, бірнеше $см^{-1}$ айырмашылық жеңіл легірлеу немесе кристалдық тордағы кернеулермен байланысты болуы мүмкін. Сонымен қатар 1T-фазалы MoS_2 тән

≈226 см$^{-1}$ және 359 см$^{-1}$ сәйкес келетін шыңдары анықталды [23]. Бұл иондану немесе кернеу әсерінен 2H→1T фазалық ауысу кезінде пайда болады [19]. Қалған шыңдар никель мен MoS_2 фазаларының арасында түзілген байланыстарының белгісі [17,20, 23, 25, 26].



Сурет 8 – Ni/MoS_2 үлгісінің Раман спектрі

Қорытындылай келе, MoS_2 үлгісі спектрі бойынша 2H-MoS_2 фазадағы кристалдық молибден дисульфиді басым. Молибден оксиді (MoO_3) немесе оның төменгі оксидтері MoS_2 фазасының толық түзілмеуімен байланысты. Оның себептері MoO_3 пен ақаулы сульфидтердің болуы бастапқы MoO_3 толық сульфидтелмегені жатуы мүмкін. Әдебиетте ГХТ синтезі кезінде MoO_3-ті MoS_2-ге толық айналдыру үшін күкірттің артығы, жеткілікті уақыт және жиі қосымша шарттар рөл ойнайтыны айтылған [25].

Ni/MoS_2 үлгісі үшін молибден дисульфиді екі фазада да түзілгені және никельдің осы фазалармен байланыс түзілгені анықталды.

Қорытынды

Бұл зерттеуде MoS_2 және Ni/MoS_2 материалдарын алу және олардың құрылымын зерттеу мақсат болды. MoS_2 синтезі үшін химиялық газ фазалық тұндыру әдісі қолданылып, нәтижесінде үшбұрышты және алтыбұрышты симметриялы кристалдардан құралған жоғары кристалдық материал алынды. Раман спектроскопиясы нәтижелері 2H фазадағы MoS_2-нің түзілгенін көрсетті. Сонымен қатар, спектрде байқалған MoO_3 жолақтары синтез кезінде молибденнің толық сульфидтелмеуімен байланыстырылды.

Ni/MoS_2 композитін алу үшін екі кезеңнен тұратын синтездеу әдісі қолданылды. Бірінші кезеңде магнетронды шашырату арқылы кремний төсенішіне никель жұқа қабықшасы тұндырылды. Бұл әдіс арқылы никель біркелкі таралып, кейінгі сульфидтеу кезеңіндеде MoS_2 құрылымымен өзара әрекеттесіп, қосымша белсенді фазалар түзілуіне себеп болды. ЭДС элементтік талдау никельдің біркелкі таралуын және Mo мен S элементтерімен айқын үйлесімділігін растады. Раман спектрі арқылы екі фазалы MoS_2 құрылымдарының түзілгені анықталды.

Алынған нәтижелер Ni/MoS_2 гибридті құрылым морфологиясы, кристалдылығы және құрылымдық біртектілігі оның перспективті электрод материалы ретінде қолданылуын дәлелдейді. Бұл құрылымдар болашақта суперконденсаторлар, сенсорлар және сутек энергиясы жүйелерінде қолдану үшін негіз бола алады.

Әдебиеттер тізімі

1. Bissett M.A. Characterization of MoS_2-graphene composites for high-performance coin cell supercapacitors / M.A. Bissett, I.A. Kinloch, R.A.W. Dryfe// ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2015. – № 7. – P. 17388.
2. Monolayer MoS_2 Growth by Supercritical Fluid Deposition, Chem. Eng. Sci. – 2024. – № 302. – P. 120782, https://doi.org/10.1016/j.ces.2024.120782.
3. Evidence for chemical vapor induced 2H to 1T phase transition in MoX_2 (X= Se, S) transition metal dichalcogenide films / A.L. Friedman et al //Scientific reports. – 2017. – T. 7, № 1. – P. 3836.
4. Synthesis of Single-Crystalline Molybdenum Disulfide on Molybdenum Films Aided with NaCl Solution Treatment / Liao Y. et al // Mater. Des. – 2022. – № 215. – P. 110517. https://doi.org/10.1016/j. matdes.2022.110517.
5. Matte R. MoS_2 and WS_2 analogues of graphene / R. Matte // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. – 2010. – V. 49. – P. 4059-4062.
6. Single-layer MoS_2 transistors / B. Radisavljevic et al // Nature Nanotech. – 2011. – № 6. – P. 147-150. https://doi.org/10.1038/nnano.2010.279.

7. Grains and grain boundaries in highly crystalline monolayer molybdenum disulphide / A. van der Zande et al // Nature Mater. – 2013. – №12. – P. 554-561. https://doi.org/10.1038/nmat3633.
8. Single-layer MoS_2 phototransistors / Z. Yin et al // ACS nano. – 2012. – Т. 6, № 1. – P. 74-80.
9. High performance multilayer MoS_2 transistors with scandium contacts / S. Das et al // Nano letters. – 2013. – Т. 13, № 1. – P. 100-105.
10. MoS_2 nanosheet phototransistors with thickness-modulated optical energy gap / H.S. Lee et al // Nano letters. – 2012. – Т. 12, № 7. – P. 3695-3700.
11. Sensing behavior of atomically thin-layered MoS_2 transistors / D.J. Late et al // ACS nano. – 2013. – Т. 7, № 6. – P. 4879-4891.
12. Electrochemical co-upgrading CO_2 and glycerol for selective formate production with 190% overall Faradaic efficiency / D. Chen et al // Nano Research. – 2025.
13. Perspective on ultrathin layered Ni-doped MoS_2 hybrid nanostructures for the enhancement of electrochemical properties in supercapacitors / K. Prakash et al // Journal of Energy Chemistry. – 2023. – Т. 80. – P. 335-349.
14. Kelly P.J. Magnetron sputtering: a review of recent developments and applications / P.J. Kelly; R.D. Arnell // Vacuum. – 2000. – № 56. – P. 159-172.
15. Kaul A.B. Two-dimensional transition metal dichalcogenides / A.B. Kaul // J. Mater. Res. – 2014. – Vol. 29. – P. 348.
16. Otunchi Y. et al. Morphological and Crystallographic Investigation of CVD-Grown MoS_2 / Y. Otunchi et al // Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra= Complex use of mineral resources. – 2026. – Т. 339, № 4. – P. 30-37.
17. Enhancement of the hydrogen evolution reaction from Ni-MoS_2 hybrid nanoclusters / D. Escalera-López et al // ACS catalysis. – 2016. – Т. 6, № 9. – P. 6008-6017.
18. Growth, structure and stability of sputter-deposited MoS_2 thin films / R. Kaindl et al // Beilstein journal of nanotechnology. – 2017. – Т. 8, № 1. – P. 1115-1126.
19. The effect of nickel on MoS_2 growth revealed with in situ transmission electron microscopy / N. Kondekar et al // ACS nano. – 2019. – № 13(6). – P. 7117-7126.
20. MoS_2: Preparation and their characterization / K.M. Garadkar et al // Journal of Alloys and Compounds. – 2009. – Т. 487, № 1-2. – P. 786-789.
21. Comparative study of Raman spectroscopy in graphene and MoS_2-type transition metal dichalcogenides / M.A. Pimenta et al // Accounts of chemical research. – 2015. – Т. 48, № 1. – P. 41-47.
22. Synthesis and characterization of flowerlike MoS_2 nanostructures through CTAB-assisted hydrothermal process / G. Tang et al // Materials Letters. – 2012. – Т. 86. – P. 9-12.
23. In situ scanning electron microscopy observation of MoS_2 nanosheets during lithiation in lithium ion batteries / C.Y. Wei et al // ACS Applied Energy Materials. – 2020. – Т. 3, № 7. – P. 7066-7072.
24. High phase-purity 1T′-MoS_2-and 1T′-$MoSe_2$-layered crystals / Y. Yu et al // Nature chemistry. – 2018. – Т. 10, № 6. – P. 638-643.
25. Growth of nanostructured nickel sulfide films on Ni foam as high-performance cathodes for lithium ion batteries / N. Feng et al // Physical Chemistry Chemical Physics. – 2013. – Т. 15, № 24. – P. 9924-9930.
26. X-ray photoelectron spectroscopy of nickel compounds / J. Matienzo et al // Inorganic Chemistry. – 1973. – Т. 12, № 12. – P. 2762-2769.

Алғыс сөз. *Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің гранты BR21881954 «Тиімді фотокаталитикалық электродтарды, фото және газға сезімтал сенсорларды жасау үшін наноқұрылымды материалдарды синтездеу технологияларын әзірлеу» бойынша жүзеге асырылды.*

А. Шонғалова, Е. Отунчи, Е. Дмитриева, А. Умирзаков, А. Кемелбекова*
ТОО «Физико-технический институт», Satbayev University
050032, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Ибрагимова 11
*e-mail: a.kemelbekova@sci.kz

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ КРИСТАЛЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ MOS_2 И НИКЕЛЕМ, И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ

В этой работе гибридные наноструктуры MoS_2, модифицированные дисульфидом молибдена (MoS_2) и никелем (Ni/MoS_2), были синтезированы двумя разными методами, химическим

газофазным осаждением и магнетронным распылением, и были тщательно изучены их структурные и морфологические свойства. Сканирующая электронная микроскопия для оценки морфологии поверхности и микроструктуры синтезированных образцов, энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия для определения элементного состава и соответствие фаз кристаллической структуре были проанализированы с помощью рамановской спектроскопии. Анализ сканирующей электронной микроскопии выявил образование гексагонально симметричных высококристаллических треугольных кристаллов, характерных для слоистых материалов. Элементное картирование подтвердило распределение молибдена и серы, а в гетероструктуре-равномерное распределение никелевого слоя. Рамановские спектры показывают характерные колебательные моды E_{2g} ~380 см-1 и A_{1g} ~406 $см^{-1}$ с расстоянием $\Delta \approx 25{,}8$ $см^{-1}$, указывающие на образование слоя MoS_2, тогда как в гетероструктуре были подтверждены показания двух фаз MoS_2. Эти результаты позволяют оптимизировать условия синтеза, контролируя структуру, свойства и фазовый состав полученных материалов. Это, в свою очередь, расширяет возможности использования материалов в будущем в сенсорных системах, оптоэлектронных устройствах, реакции эволюции водорода и других каталитических процессах. Кроме того, модификация Ni улучшает функциональные характеристики материалов MoS_2, увеличивая их потенциал в междисциплинарных областях применения.

Ключевые слова: *дисульфид молибдена, химическое газовое осаждение, магнетронное осаждение, двумерные материалы, гибридное соеденение.*

A. Shongalova, E. Otunchi, E.N. Dmitrieva, A. Umirzakov, A. Kemelbekova *
Physical and Technical Institute LLP, Satbayev University
050032, Republic of Kazakhstan, Almaty, Ibragimova Street 11
*e-mail: a.kemelbekova@sci.kz

OBTAINING COMPOSITE CRYSTALS MODIFIED WITH MOS_2 AND NICKEL AND STUDYING THEIR STRUCTURAL PROPERTIES

In this paper hybrid nanostructures of molybdenum disulfide (MoS_2) and nickel-modified MoS_2 (Ni/MoS_2) were synthesized in two different ways, that is, by chemical gas phase deposition and magnetron scattering, and their structural and morphological properties were thoroughly studied. Scanning electron microscopy was analyzed to assess the surface morphology and microstructure of the synthesized samples, energy-dispersion X-ray spectroscopy to determine the elemental composition, and phase correspondence with the crystal structure was analyzed using Raman spectroscopy. Scanning electron microscopy analysis revealed the formation of hexagonal symmetric high-crystalline triangular crystals characteristic of layered materials. Elemental mapping confirmed the distribution of molybdenum and sulfur, and the uniform distribution of the nickel layer in the heterostructure. While the Raman spectra show characteristic oscillation modes E_{2g} ~380 cm^{-1} and A_{1g} ~406 cm^{-1} with a distance $\Delta \approx 25.8$ cm^{-1} indicating the formation of the MoS_2 layer, the indicators of two phases of MoS_2 in heterostructure were evidence. These results make it possible to optimize the synthesis conditions by controlling the structure, properties and phase composition of the resulting materials. This, in turn, will expand the possibility of using materials in the future in sensor systems, optoelectronic devices, hydrogen evolution reaction and other catalytic processes. In addition, the NI modification improves the functional characteristics of MoS_2 materials and increases their potential in multidisciplinary application areas.

Key words: *molybdenum disulfide, chemical gas deposition, magnetron deposition, two-dimensional materials, hybrid structure.*

Авторлар туралы мәліметтер

Айгүл Қабылқызы Шонғалова – PhD, аға ғылыми қызметкер, ЖШС «Физика-техникалық институты», Қазақстан Республикасы; e-mail: a.shongalova@sci.kz.

Еділ Отунчи – техника ғылымдарының магистрі, инженер, ЖШС «Физика-техникалық институты», Қазақстан Республикасы; e-mail: e.otunchi@sci.kz.

Елена Анатольевна Дмитриева – физика математика ғылымдарының кандидаты, профессор, ЖШС «Физика-техникалық институты», Қазақстан Республикасы; e-mail: e.dmitrieva@sci.kz.

Арман Гаинидинович Умирзаков – PhD кандидат, аға ғылыми қызметкер, ЖШС «Физика-техникалық институты», Қазақстан Республикасы; e-mail: a.umirzakov@sci.kz.

Айнагуль Ержановна Кемелбекова* – PhD, аға ғылыми қызметкер, ЖШС «Физика-техникалық институты», Қазақстан Республикасы; e-mail: a.kemelbekova@sci.kz.

Сведения об авторах

Айгуль Шонғалова – PhD, старший научный сотрудник, ТОО «Физико-технический институт», Республика Казахстан; e-mail: a.shongalova@sci.kz.

Еділ Отунчи – магистр технических наук, инженер, ТОО «Физико-технический институт», Республика Казахстан; e-mail: e.otunchi@sci.kz.

Елена Дмитриева – кандидат физико-математических наук, профессор, ТОО «Физико-технический институт», Республика Казахстан; e-mail: e.dmitrieva@sci.kz.
Арман Умирзаков – кандидат PhD, старший научный сотрудник, ТОО «Физико-технический институт», Республика Казахстан; e-mail: a.umirzakov@sci.kz.
Айнагуль Кемелбекова* – PhD, старший научный сотрудник, ТОО «Физико-технический институт», Республика Казахстан; e-mail: a.kemelbekova@sci.kz.

Information about the authors
Aigul Shongalova – PhD, senior researcher, LLP «Institute of Physics and technology», Republic of Kazakhstan; e-mail: a.shongalova@sci.kz.
Edil Otunchi – master of technical sciences, engineer, LLP «Institute of Physics and technology», Republic of Kazakhstan; e-mail: e.otunchi@sci.kz.
Elena Dmitrieva – candidate of physical and mathematical sciences, professor, LLP «Institute of Physics and technology», Republic of Kazakhstan; e-mail: e.dmitrieva@sci.kz.
Arman Umirzakov – PhD candidate, senior researcher, LLP «Institute of Physics and technology», Republic of Kazakhstan; e-mail: a.umirzakov@sci.kz.
Ainagul Kemelbekova* – PhD, senior researcher, LLP «Institute of Physics and technology», Republic of Kazakhstan; e-mail: a.kemelbekova@sci.kz.

Редакцияға енуі 16.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 07.08.2025
Жариялауға қабылданды 08.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-54

BY 4.0
Check for updates

IRSTI: 44.31.35

L.G. Sulyubayeva, N.E. Berdimuratov, T. Alimbekuly*
Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University,
070002, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, st. Shakarima 148
*e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com

STUDY OF THE DIFFUSION ELECTROLYTE PLASMA TREATMENT EFFECT ON THE TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF 40Kh STEEL

Abstract: *This article studies the effects of diffusion electrolytic plasma boriding on the structure and tribological characteristics of 40Kh steel. X-ray diffraction and scanning microscopy were used to investigate the structural and phase composition, while the mechanical and tribological properties of the steel were measured using a hardness tester and tribometer. The characteristics of 40Kh steel in its initial state and after diffusion electrolytic plasma treatment followed by oxide removal by electrochemical polishing were compared. After diffusion electrolytic-plasma treatment, FeB and Fe_2B boride phases were detected on X-ray diffractograms, proving the diffusion process. A 5 times increase in microhardness and a 3 times decrease in wear intensity were also determined, depending on the initial state. It was established that the morphology of the structure after boriding has a zonality consisting of three zones: the borided layer, the diffusion zone, and the heat-affected zone. The research data indicates the potential of using diffusion electrolytic-plasma treatment in mechanical engineering and the processing of parts for the mining industry.*

Key words: *diffusion electrolytic plasma treatment, boride, electrolyte, borax, microhardness.*

Introduction

Improving the reliability and service life of mining and metallurgical equipment components requires the implementation of effective surface hardening technologies. In highly abrasive, corrosive and thermally stressed environments, wear and surface degradation are among the main causes of equipment failure. The most effective way to increase the wear and corrosion resistance of structural steels remains diffusion boriding, which allows the formation of superhard layers of FeB and Fe_2B phases with a hardness of up to 22 GPa and high chemical resistance [1]. In practice, various boronising methods are used: in powder mixtures, melts, gas phase, as well as electrolytic and plasma boron saturation. However, traditional approaches (in particular, thermal diffusion boronizing in powder mixtures) require long processing times (4-8 hours) and high temperatures

(850-1000 °C) [2], which limits their application to complex shapes, large structures, and parts with precise tolerances. Plasma boronising in a glow discharge, laser and electron beam saturation allow for a reduction in temperature and time parameters, but are characterised by the complexity of the equipment, the need for a vacuum environment, the toxicity of the reaction components (e.g. BCl_3 or B_2H_6) [3], and high cost. Electrolytic plasma boriding (EPB) is a promising surface modification method that combines ease of implementation, high process speed (5-30 minutes) and the ability to treat complex shapes. The process is carried out in aqueous solutions at a voltage of 150–350 V and the formation of a vapour-plasma shell, in which intensive heat and mass transfer and electrochemical processes take place. The processing temperature is 500-800 °C, depending on the voltage and electrolyte parameters [4]. The features of EPB include the formation of a dense boride layer with a microhardness of up to 1600-2000 HV, improved adhesion due to the gradient nature of the layer, the possibility of combining with further heat treatment in the same electrolyser, and the absence of toxic and expensive reagents. However, issues remain unresolved regarding the uniformity of layers on large parts, the stability of the layer morphology in areas of intense discharge, and the need for precise adjustment of electrolyte compositions for different steel grades [5].

Boriding methods using electrolytic plasma treatment, like other types of diffusion saturation under similar conditions, can be classified according to several criteria. One of the key factors is the electrical polarity of the workpiece being treated, which determines the nature of the vapour-gas shell (VGS) forming around it, which acts as a heat source and carrier of active particles. When a negative potential is applied (cathodic treatment), intense electrical discharges resembling a glow are observed, which at high current loads can transition to an arc mode. This significantly complicates the control of the product temperature, increases the risk of overheating and leads to surface destruction with an increase in micro-roughness. Regardless of polarity, when treated in aqueous electrolyte solutions containing VGS [6], a significant amount of water vapour is fixed. However, in the case of cathodic treatment, the level of material oxidation is significantly lower, which is probably due to the presence of hydrogen and the low content of free oxygen in the environment. The characteristic oxide layer during anodic EPT increases corrosion resistance but inhibits the diffusion of interstitial elements.

Additional interest in this technology is due to the possibility of activating diffusion processes through surface modification. For example, preliminary activation by means of ultra-deep penetration of SiC and Al particles allows for a significant intensification of boride layer formation and an increase in their thickness by 20-50% [7] due to the activation of volume diffusion and the formation of defect zones in the steel structure. Thus, under the harsh operating conditions of mining and metallurgical equipment, electrolytic-plasma boriding is considered a technologically and economically efficient alternate to traditional methods.

The aim of this work is to study changes in the structure, phase composition, microhardness and tribological parameters of 40Kh steel during diffusion electrolytic-plasma boriding (DEPB).

Materials and methods

Materials and methods In this research work, the objects of study are samples of 40Kh steel (AISI 5140) measuring 25×25×20 mm, which were pre-grinded with P2000 sandpaper before the experiments.

The experimental studies were conducted at the Surface Engineering and Tribology Research Centre of the S. Amanzholov East Kazakhstan University.

The experimental studies were conducted at the Research Centre for Surface Engineering and Tribology at S. Amanzholov East Kazakhstan University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan). The microstructure of the samples was revealed by chemical etching using a 4% solution of nitric acid (HNO_3) in ethyl alcohol. The microstructure and energy-dispersive analysis of the samples were examined using a scanning electron microscope SEM3200 (China). The phase composition was determined using an X'PertPro X-ray diffractometer (Philips, Netherlands). Data processing and quantitative analysis were performed using PowderCell 2.4 software. To determine the depth hardness of the samples, a Vickers microhardness tester (Metolab 502, Russia) equipped with a diamond indenter and a load sensor up to 100 g was used.

The tribological characteristics of the boronised steel samples were evaluated by measuring the coefficient of friction and wear of the rubbing surfaces using the ‘ball-on-disk’ method on a TRB^3 Anton Paar tribometer.

The diffusion electrolytic plasma boriding unit includes a direct current rectifier (Fig. 1a) that provides a direct current with a maximum power of 360 V and 100 A [9]. The electrodes consist of a cathode (workpiece) and an anode in the form of a round plate with holes for uniform distribution of the electrolyte. The electrolyte used is an aqueous solution containing calcined ash (Na_2CO_3) as an electrically conductive medium and saturating chemicals in specific proportions, which is considered optimal for the formation of stable plasma [10].

During electrolytic plasma treatment in the 'metal-electrolyte' system, a complex set of physical and chemical processes is implemented, initiated by the application of high electrical potential.

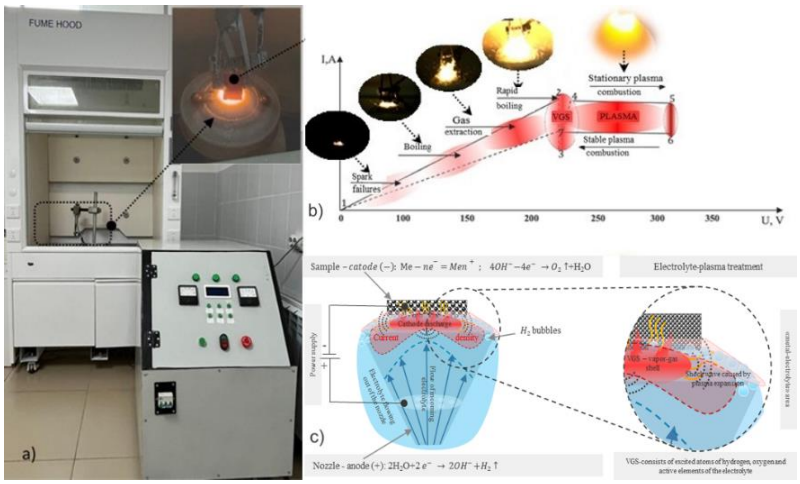


Figure 1 – General view of the installation and schematic diagrams of electrical discharge processes during electrolyte-plasma treatment (EPT):
a) general view of the DEPTB installation b) vapor-gas shell (VGS) c) diagram of electrical discharge

When heated gradually, the liquid first turns into a gas. If you keep heating the gas, ionisation happens: electrons separate from atoms, forming a mix of positively charged ions and free electrons. This ionised environment can conduct electricity. The process of gas transition to a plasma state is accompanied by a brief glow known as a glow discharge, during which the temperature can reach 2000°C. These high temperatures are effectively used to modify the surface of metallic materials using an external source of influence. The combination of electrolytic and plasma processes allows for the implementation of a surface treatment method known as electrolytic-plasma modification. The modification process can be divided into several phases. In Figure 1c, at voltages of 150-200 V, electrolysis occurs, accompanied by the release of gases (H_2, O_2) (Fig. 1b) and the formation of gas bubbles. With a further increase in voltage above 200 V, a vapor-gas shell (VGS) forms at the interface, representing a dynamically unstable region of excited hydrogen and oxygen atoms and active electrolyte components. As the voltage increases to 250-300 V, stable plasma formation begins, accompanied by micro-discharges, sharp local heating of the sample surface (up to 1000 °C) and high temperature gradients (up to 500 °C/s). This leads to intensified mass transfer, increased diffusion and activation coefficients, and the formation of surface layers with modified structure and properties.

Thus, Figure 1d the mechanism of electrical discharge phenomena in EPT includes the following sequential stages: electrolysis → formation of VGS → discharge plasma, which are closely related to the technological parameters of processing (voltage, current, pulse duration) and determine the intensity of thermal and electrical impact on the metal.

To identify the phases formed in the coatings after high-temperature oxidation tests, X-ray diffraction (XRD) analysis was performed using an X'PertPRO diffractometer with Cu-Kα radiation (λ = 1.54 Å) at 40 kV and 30 mA. Diffractograms were collected in the 2θ range of 20° to 90° with a step size of 0.02° and a counting time of 0.5 seconds per step. The data were analyzed using the HighScore software (Table 1).

Thermo-Calc software (version 2025a, Thermo-Calc Software, Stockholm, Sweden) was used to model the phase diagrams of boron-containing steels, which graphically display the phase transformations in iron-boron alloys depending on their composition and temperature.

Table 1 – DEPB modes for 40X steel

Sample	Voltage, V	Current, A	Temperature, ℃	Time, min
40Kh	180	10	950	20
Electrochemical polishing	10	4,3	54	10
Electrolyte: 10% sodium carbonate + 20% sodium tetraborate + 70% water				

Electrochemical polishing was used to remove oxide layers from the surface of 40Kh steel samples before subsequent studies. Polishing was carried out in a cell with a stainless steel cathode at a constant voltage of 10-12 V and a current density of 1.4-1.6 A/cm² for 10 minutes at an electrolyte temperature of 50-60 °C.

Results and discussion

It is known [11-13] that alloying elements in most cases dissolve in austenite, forming solid solution substitutions. Alloyed steels require higher heating temperatures and longer holding times to obtain a homogeneous austenite in which the carbides of the alloying elements are dissolved. The low tendency for austenite grain growth is a technological advantage of most alloyed steels. All alloying elements reduce the tendency of austenite grains to grow, except for manganese and boron. Elements that do not form carbides (silicon, cobalt, copper, nickel) have little effect on grain growth. Figure 2 shows the Fe-B phase diagram (Figure 2a) [5] and the calculated model of M+B phase formation at different temperatures obtained using the ThermoCalc program (Figure 2b).

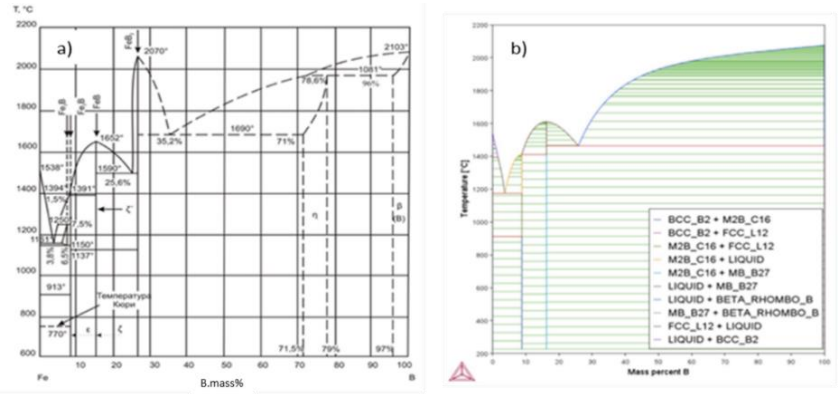


Figure 2 – Phase diagram of Fe-B as a function of processing temperature
a) the Fe-B phase diagram b) the Fe-B phase diagram obtained using the ThermoCalc program

Carbide-forming elements (chromium, molybdenum, tungsten, vanadium, titanium) greatly refine the grain. According to previous studies [13], it was established that the borided layer of low- and medium-alloy structural steel consists of borides FeB – η-phase (16.23% B) – surface layer, modification zone; Fe_2B – ε phase (8.83% B) – intermediate layer of the transition zone, adjacent to the core, i.e., in general, there is an alternation of structures: ε + η; α + ε phases.

Figure 3 shows fragments of the microstructure of the surface of a 40Kh steel sample treated with DEPB after electrochemical treatment to remove oxides formed during diffusion saturation. Numerous roughnesses were found on the surface, which is typical for electrolytic plasma treatment.

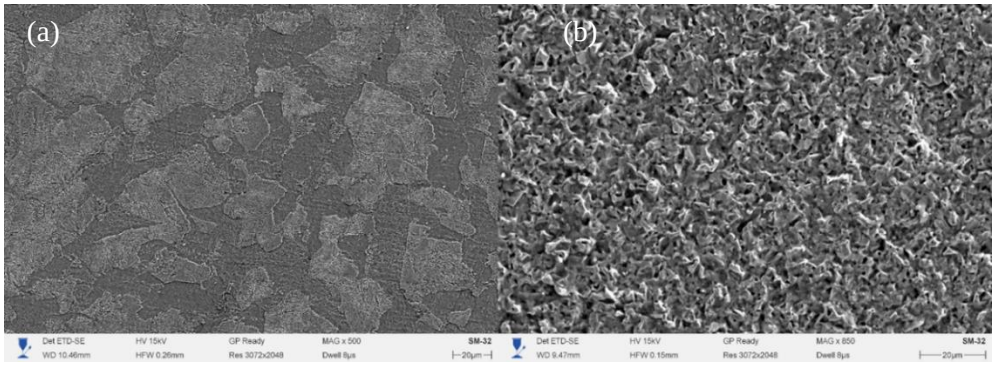


Figure 3 – Microstructure of the 40Kh steel before (initial) (a) and after DEPB treatment (b)

Figure 4 shows a SEM image of the diffusion layer of 40Kh steel borided by the plasma-electrolytic method. A quantitative elemental analysis was performed to determine the elemental composition. EDX analysis of the modified surface revealed that spectrum 1 contains 7.53% wt. and spectrum 3 contains 8.78% wt., while spectrum 2 contains 16.56 wt.% of boron mass concentrations (Table 2). According to the literature [14], the composition of typical FeB phases contains 16.23% wt. boron, and the Fe_2B phase should contain 8.83 wt.% boron, which confirms the obtained result (Table 2).

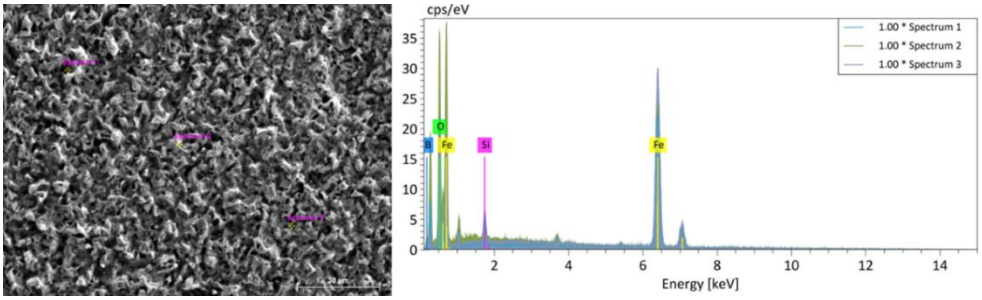


Figure 4 – Surface morphology and EDS analysis of 40X steel after DEPB

Table 2 – Chemical composition of 40Kh steel samples after DEPB steel (wt. %)

Spectrum	B	O	Si	Fe
Spectrum 1	7.53	14.91	5.59	71.97
Spectrum 2	16.56	18.78	1.29	63.37
Spectrum 3	8.78	11.09	1.37	78.76
Mean	10.96	14.93	2.75	71.37

The structure of the diffusion-borided surface layer of 40Kh steel consists of columnar crystals of iron borides FeB and Fe_2B. Figure 5 shows the cross-sectional microstructure of 40Kh steel after diffusion boriding in an electrolyte plasma. As can be seen from Figure 5 a, the modified surface layer has a zonal character: Layer I is a surface borided layer consisting of borides FeB (η-phase) and Fe_2B (ε-phase), the presence of which is confirmed by point elemental analysis (Fig 5b. c).

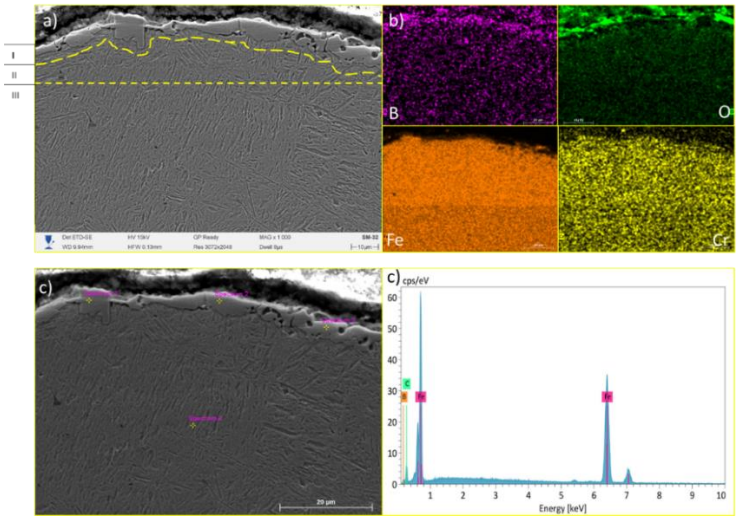


Figure 5 – Image of the cross-sectional microstructure of 40Kh steel after boriding, observed from the surface into the depth of the sample

a) SEM image of cross section of steel surface after DEPB: 1-Borided layer, 2– transitional intermediate layer, 3– thermal influence zone b,c,d) EDS analysis of 40X steel after DEPB

Layer II – transitional intermediate layer, dark component of the diffusion layer, formed from borides of alloying elements $(Fe,Cr)_2B$; Layer III – thermal influence zone. According to reference data [15], the resulting layer has high hardness, which provides increased abrasive wear resistance at high temperatures (up to 900℃).

Figure 6 shows the XRD pattern of 40Kh steel after plasma-electrolytic boriding [15] in an electrolyte containing an aqueous solution of 10% (Na_2CO_3) and 20% ($Na_2B\ 4O_7*10H_2O$) at a temperature of 900 °C for 20 minutes. The results of X-ray phase analysis (XRD) are shown in Figure 6. For the initial sample of 40X steel, only peaks corresponding to α-Fe (reflections (110), (200), (211) are observed. X-ray structural analysis confirmed that after diffusion boriding, additional reflections appear on the diffractogram of the studied steel, identified as iron borides – Fe_2B and FeB, while the intensities of the α-Fe peaks decreased significantly. The appearance of Fe_2B/FeB indicates the formation of a boride layer on the surface due to boron diffusion and reaction with iron [15]. The partial overlap of the α-Fe(110) reflection with the boride reflections and the moderate broadening of the peaks indicate the small size of the boride layer crystallites and the occurrence of micro stresses.

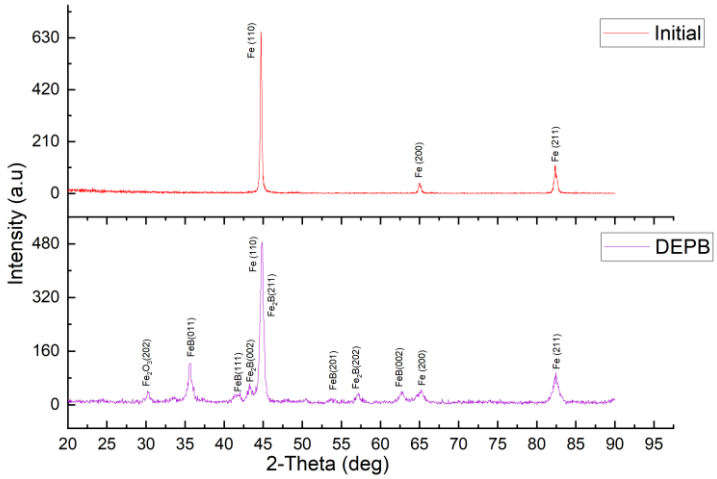


Figure 6 – XRD pattern of steel 40Kh steel after diffusion boriding

Unfortunately, the results of X-ray structural analysis did not reveal the presence of residual austenite phases during plasma-electrolytic boriding.

Only insignificant reflections corresponding to γ-phase particles were detected, which only indicates the presence of these phases in the material under study.

Friction tests showed that diffusion electrolyte-plasma boriding has a significant effect on the nature of changes in the friction coefficient of 40Kh steel (Figure 7) [16]. For the initial sample, a sharp increase from ~0.15 to ~0.86 is observed over the first 15 m of the path, which is associated with rapid wear and transition to a steady state of adhesive friction. For the borided sample, the increase in the friction coefficient is more gradual, reaching ~0.85 only at 47 m of the path.

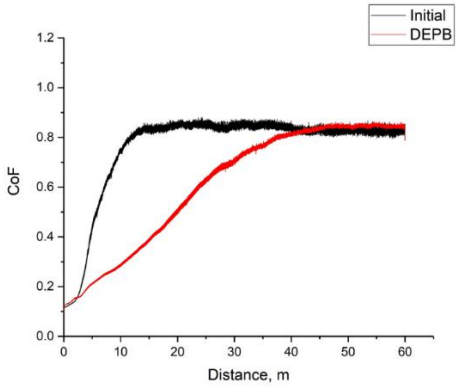


Figure 7 – Friction coefficient of 40Kh steel measured on a tribometer before and after DEPB

The long running-in stage and reduced friction coefficient values at the initial stage indicate the presence of a wear-resistant boride layer, which reduces the intensity of adhesive interactions and slows down surface destruction. The established friction coefficient value for both samples is close (~0.8), but the rate of reaching it is significantly lower for the boron-coated material, which indicates increased wear resistance and stability of the protective layer [17].

Conclusion

The studies conducted showed that diffusion-electrolyte-plasma boriding (DEPB) of 40Kh steel leads to the formation of a hard boride layer on the surface, consisting of FeB and Fe_2B phases, which is confirmed by the results of XRD phase analysis (Table 3).

Table 3 – Correlation table of the results of the study of 40Kh steel before and after DEPB

Sample	Phase	Microhardnes, HV	Coefficient of friction	Wear intensity, mm³/N·m
40Kh initial	Fe	236	0,764	2,276 E^{-4}
DEPB+polising	FeB Fe_2B	1250	0,611	6,492E^{-5}

As a result of boriding, the microhardness of the surface increased from 236 HV for the initial sample to 1250 HV, which is more than 5 times higher than the initial value.

Friction tests showed a decrease in the friction coefficient from 0.764 for the initial steel to 0.611 after DEPB, which indicates an improvement in the anti-friction properties of the surface. The wear rate decreased from 2.276×10^{-4} mm³/(N·m) to 6.492×10^{-5} mm³/(N·m), which indicates a significant increase in wear resistance.

Thus, the use of DEPB provides a comprehensive improvement in the operational properties of 40Kh steel due to the formation of a wear-resistant boride coating with high hardness and a reduced friction coefficient. The results obtained confirm the promise of this surface modification method for increasing the durability of parts operating under conditions of intense wear.

References

1. Metal surface modification by plasma boronizing in a two-temperature-stage process / K.-S. Nam et al // Surface and Coatings Technology. – 2005. – № 197(1). – R. 51-55. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.10.099. (In English).
2. Belkin P.N. Elektrolitno-plazmennoe borirovanie staley i titanovykh splavov: Obzor [Electrolyte-plasma boriding of steels and titanium alloys: A review] / P.N. Belkin, A.A. Karpov, A.S. Pavlenko // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2022. – № 58(3). – R. 234-248. (In Russian).
3. Krivezhenko D.S. (2022). Razrabotka i issledovanie boridnykh pokrytii dlya uvelicheniya iznosostoykosti detaley iz stali. PhD Dissertation, MISIS, Moscow. (In Russian).
4. Malushin Y.T.I. Structural features and properties of boride coatings formed by electrolytic plasma processing / Y.T.I. Malushin // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2020. – № 14(2). – R. 378-386. https://doi.org/10.1134/S102745102002019X. (In English).
5. Gunes I. An overview of boriding and recent developments in boride layer growth mechanisms / I. Gunes, F. Yildiz // Kovove Mater. – 2011. – № 49(2). – R. 95-102. (In English).
6. Kusmanov S.A. Teoreticheskie osnovy ehlektrolitno-plazmennogo nagreva i ego primenenie dlya diffuzionnogo nasyshcheniya metallov i splavov / S.A. Kusmanov, I.G. D'yakov, P.N. Belkin; Kostroma: Izd-vo Kostrom. gos. un-ta, 2017. – 420 s. (In Russian).
7. Medvedovski E. Wear and corrosion-resistant ceramic coatings for aggressive service conditions / E. Medvedovski // Surface and Coatings Technology. – 2015. – № 266. – R. 197-208. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.01.011. (In English).
8. Korzec M.D. Plasma Electrolytic Saturation with Boron in Steel Surfaces / M.D. Korzec, K. Dybowski // Surface and Coatings Technology. – 1994. – № 63(1). – R. 53-58. https://doi.org/10.1016/S0257-8972(05)80006-1. (In English).
9. Pat. 10575. Respublika Kazakhstan. Sposob ehlektrolitno-plazmennogo borirovaniya stal'nykh izdelii v rasplave. / L.G. Sulyubaeva, N.E. Berdimuratov, D.R. Baizhan, A.B. Nabioldina, Temirlan Әlimbekұly. Data reg.: 16.05.2025. (In Russian).
10. Ehlektrolitno-plazmennaya poverkhnostnaya zakalka nizkolegirovannykh stalei 65G i 20GL / B.K. Rakhadilov i dr. // Vestnik Karagandinskogo universiteta. – 2016. – № 4(84). – S. 8-13. (In Russian).
11. Rakhadilov B.K., Tabiyeva Y.Y., Uazyrkhanova G.K., Zhurerova L.G., Popova N.A. Effect of electrolyte-plasma surface hardening on structure wheel steel 2 // Bulletin of the karaganda university. Physics series -2020. No.2(98) -P. 68-74 DOI 10.31489/2020Ph2/68-74. (In English).

12. Investigation of Changes in the Structural-Phase State and the Efficiency of Hardening of 30CrMnSiA Steel by the Method of Electrolytic Plasma Thermocyclic Surface Treatment / D. Baizhan et al // Coatings. – 2022. – V.12. https://doi.org/10.3390/coatings12111696. (In English).
13. Skakov M. Influence of Regimes Electrolytic Plasma Cementation on the Mechanical Properties of Steel 12Cr18Ni10Ti / M. Skakov, Sh. Kurbanbekov, M. Scheffler // Key Engineering Materials. – 2013. – V. 531-532. – P.173-177. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.531-532.173. (In English).
14. Change in high-temperature wear resistance of high-speed steel by plasma nitriding / B.K. Rakhadilov et al // Vestnik Karagandinskogo universiteta. – 2018. – № 3(91). – P. 59-65. (In English).
15. Dossett J.L. ASM handbook / J.L. Dossett, G.E. Totten // Heat Treating of Irons and Steels, ASM International, Materials Park, OH, USA. – 2014. – Vol. 4D. (In English).
16. Fazovye prevrashcheniya v stali 30KHGS pod deistviem ehlektrolitno-plazmennoi nitrotsementatsii / N.A. Popova i dr. // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. –2016. – № 1. – S. 60-70. (In English).
17. Skakov M.K. Tekhnologiya Plazmenno-Ehlektroliticheskogo Borirovaniya Poverkhnosti Stali 30KHGSA / M.K. Skakov, EH.G. Batyrbekov, L.G. Zhurerova // Vestnik KaZNTU. – 2015. – № 3. – S. 377-384. (In Russian).

Funding

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19680473).

Л.Г. Сулюбаева, Н.Е. Бердімуратов, Т. Әлімбекұлы*
Сәрсен Аманжолов Шығыс Қазақстан Университеті,
070002, Қазақстан, Өскемен, Шәкәрім к-сі 148
*e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com

ДИФФУЗИЯЛЫҚ ЭЛЕКТРОЛИТТІК-ПЛАЗМАЛЫҚ ӨҢДЕУДІҢ 40Х БОЛАТТЫҢ ТРИБОЛОГИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада диффузиялық электролиттік-плазмалық борлаудың 40Х болатының құрылымы мен трибологиялық сипаттамаларына әсері қарастырылады. Рентгендік дифракция және сканерлеуші микроскопия әдістері арқылы құрылымдық-фазалық құрам зерттелді, ал болаттың механикалық және трибологиялық қасиеттері қаттылық өлшегіш пен трибометр арқылы бағаланды. 40Х болатының бастапқы күйі мен диффузиялық электролиттік-плазмалық өңдеуден кейін, оксидтерді электрохимиялық жылтырату арқылы жойғаннан кейінгі күйі салыстырылды. Диффузиялық электролиттік-плазмалық өңдеуден кейін рентгендік дифрактограммаларда FeB және Fe_2B боридтік фазалары анықталды, бұл диффузия процесінің жүргенін дәлелдейді. Сондай-ақ микроқаттылықтың 5 есеге артқаны және тозу интенсивтілігінің бастапқы күйге байланысты 3 есеге дейін төмендегені анықталды. Борлау процесінен кейінгі құрылым морфологиясы үш аймақтан тұратын зоналылыққа ие екені анықталды: борланған қабат, диффузиялық аймақ және термиялық әсер ету аймағы. Бұл зерттеу нәтижелері диффузиялық электролиттік-плазмалық өңдеудің машина жасау мен тау-кен өндірісі саласындағы бөлшектерді өңдеуде болашағы зор екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: *диффузиялық электролиттік-плазмалық өңдеу, борид, электролит, бура, микроқаттылық.*

Л.Г Сулюбаева, Н.Е. Бердімуратов, Т. Әлімбекұлы*
Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова,
070002, Казахстан, Усть-Каменогорск, ул. Шакарима 148
*e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИФФУЗИОННОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ 40Х

В этой статье рассмотрены влияния диффузионного электролитно-плазменного борирования на структуру и трибологические характеристики стали 40Х. Методами рентгеновской дифракции и сканирующей микроскопии были исследованы структурно-фазовый состав, а механические и трибологичекие свойства стали были оценены твердомером и

трибометром. Были сравнены характеристики стали 40Х в исходном состоянии и после диффузионной электролитно-плазменной обработки с последующим удалением оксидов электрохимическим полированием. После диффузионной электролитно-плазменной обработки на рентгеновских дифрактограммах были обнаружены боридные фазы FeB и Fe_2B, которые подтверждают процесс диффузии. Так же было определено повышение микротвердости в 5 раз и снижение интенсивности изнашивания до 3 раз в зависимости от исходного состояния. Установлено, что морфология структуры после борирования имеет зональность, состоящяя из 3-зон: борированный слой, дифузионная зона и зона термического влияния. Данные исследования свидетельствует о перспективности использования диффузионной электролитно-плазменной обработки в машиностроении и обработке деталей горно-рудной промышленности.

Ключевые слова: *диффузионная электролитно-плазменная обработка, борид, электролит, бура, микротвердость.*

Information about authors

Laila Gylimmeddenovna Sulyubayeva – PhD, associate professor, Senior Researcher of Scientific Research Center «Surface Engineering and Tribology» at S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: lsulyubayeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1924-1459.

Nurbol Erboluly Berdimuratov – Junior researcher of scientific research center «Surface engineering and tribol-ogy», Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: nurbol.ber@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6880-6439.

Temirlan Alimbekuly* – junior researcher of Scientific Research Center «Surface Engineering and Tribology» at Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7419-1281.

Авторлар туралы мәліметтер

Лайла Гылыммедденовна Сулюбаева – PhD, қауымдастырылған профессор, С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының аға ғылыми қызметкері, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: lsulyubayeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1924-1459.

Нұрбол Ерболұлы Бердімуратов – «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының кіші ғылыми қызметкері, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қаласы, Қазақстан; e-mail: nurbol.ber@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6880-6439.

Темірлан Әлімбекұлы* – Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан Университетінің «Беттік инженерия және трибология» ҒЗО кіші ғылыми қызметкері, Өскемен, Қазақстан; e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7419-1281.

Сведения об авторах

Лайла Гылыммедденовна Сулюбаева – PhD, ассоциированный профессор, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра «Инженерия поверхностей и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: lsulyubayeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1924-1459.

Нурбол Ерболулы Бердимуратов – младший научный сотрудник научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология», Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: nurbol.ber@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6880-6439.

Темірлан Әлімбекұлы* – младший научный сотрудник Научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7419-1281.

Received 12.08.2025
Revised 22.08.2025
Accepted 25.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-55

BY 4.0
Check for updates

IRSTI: 53.49.19

Y. Kambarov*
Research Center «Surface Engineering and Tribology», S. Amanzholov EKU,
070002, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, 34 30th Guards Division Street
*e-mail: yedilzhan@mail.ru

EFFECT OF SPRAYING REGIME AND VACUUM ANNEALING ON THE MICROSTRUCTURE AND WEAR RESISTANCE OF PLASMA-SPRAYED COCRFENIMN HIGH ENTROPY COATINGS

Abstract: *In this study, coatings based on a high-entropy CoCrFeNiMn alloy were deposited on 316L stainless steel substrates using air plasma spraying with two different regimes. After spraying, the coatings were vacuum annealed at 500°C. The aim of the work was to study the effect of hydrogen flow rate and subsequent annealing on the phase composition, microstructure, and mechanical properties of the coatings. X-ray phase analysis showed that a face-centered cubic (FCC) structure dominates in all samples, but after annealing, especially in the regime APS 2, the formation of σ-phase and oxide phases MnO and $MnCr_2O_4$ is observed. According to SEM/EDS data, a layered microstructure typical for air plasma sprayed coatings and an increased oxygen content in the upper zone of the coatings after annealing were established. The highest microhardness of 390 $HV_{0.2}$ was recorded for the APS 2a coating, which is associated with the formation of hard secondary phases. However, wear tests showed that the best wear resistance was observed in coatings obtained using the APS 1 and APS 1a regimes, due to a more stable phase structure and a lower tendency to oxidation. The results obtained emphasize the importance of comprehensive optimization of spraying parameters and annealing conditions to improve the performance characteristics of HEA based coatings under friction and wear conditions.*

Key words: *high entropy alloys, coating, air plasma spraying, mechanical properties, microstructure.*

Introduction

High-entropy alloys (HEAs), which typically include five or more major elements in equimolar or near-equimolar ratios with high mixing entropy, are the subject of growing research interest each year. HEAs have attracted considerable attention due to their exceptional properties, such as outstanding mechanical characteristics [1, 2], ultra-high strength [3], high ductility [4], high corrosion resistance, and excellent wear resistance [5, 6]. The development and study of HEA with high wear resistance is of interest both for fundamental science and for critically important practical applications. Among the various HEAs developed, the CoCrFeNiMn alloy, also known as the Cantor alloy, is of particular interest. It forms a single-phase solid solution with a face-centered cubic (FCC) crystal lattice [7]. However, according to data [2], CoCrFeMnNi and $Al_{0.3}$CoCrFeNi alloys exhibit increased wear rates relative to aluminum oxide at room temperature, which is due to the relative softness of the FCC structure. The work [8] shows that the addition of 0.5 mol of Mn to the AlCrFeNiTi alloy leads to a decrease in wear resistance due to an increase in the wear coefficient.

To date, most HEAs have been obtained using traditional technologies such as melting, casting, and powder metallurgy methods [4]. However, the use of thermal spraying opens up new possibilities for the formation of HEA based coatings, allowing materials to be deposited on a wide range of substrates at high speed and with good adhesion. At the same time, issues related to the optimization of spraying parameters and ensuring stable performance characteristics of such coatings remain unresolved.

In addition to varying the chemical composition, one of the effective ways to modify the properties of HEA coatings (HEC) is annealing. In particular, vacuum annealing can significantly improve the structure and properties of coatings. The work [9] shows that optimizing the annealing parameters of high-velocity oxygen fuel (HVOF) coatings based on CoCrFeMnNi contributes to increased strength. Studies [10-12] also confirmed that vacuum annealing after deposition significantly reduces porosity, improves microstructural homogeneity, and increases the quality of interphase bonding due to the intensification of diffusion processes. Elevated temperatures promote phase redistribution and defect elimination, which ultimately leads to improved wear resistance of the coatings.

A number of studies demonstrate the successful application of thermal spraying technologies for the formation of coatings based on HEA. The work [13] investigates the evolution of phases in

the CoCrFeNiMn coating after laser remelting. Coatings containing Ni, Co, Fe, Cr, Si, Al, and Ti obtained by APS and HVOF spraying demonstrated high oxidation resistance at 1100 °C due to the formation of a protective α-Al_2O_3 phase [14]. Similar results were obtained for coatings containing Ni, Co, Fe, Cr, Si, Al, and Ti [15], where after annealing at 1100 °C for 10 hours, a significant increase in hardness and resistance to grain growth was observed [16]. The wear resistance of the CoCrFeNiMn HVOF coating was studied at different temperatures [9, 17]. Other works considered isothermal oxidation and tribological behavior of AlCoCrFeNi and FeCoNiCrMn coatings obtained by cold gas dynamic spraying [18].

Despite the accumulated experimental experience, the effect of vacuum annealing on the microstructure and tribological properties of HEA based coatings obtained by APS remains insufficiently investigated. The main mechanisms underlying the change in properties depending on the annealing conditions are also unclear. Thus, an urgent task remains to improve the performance characteristics of such coatings by optimizing technological parameters, including the consumption of plasma-forming gas and the heat treatment regime.

In this work, high-entropy CoCrFeNiMn alloy coatings were applied to 316L stainless steel substrates by air-plasma spraying and subsequently subjected to vacuum annealing at 500 °C. The mechanical properties of the coatings were investigated using microindentation and wear resistance assessment methods, which allowed the properties of the coating to be analyzed at various structural levels. The results of the experiments provided a comprehensive understanding of the microstructure, phase composition, and mechanical characteristics of the coatings, confirming their potential for use under conditions of increased loads and wear.

Materials and Methods

The starting material for the coating, in the form of a CoCrFeNiMn powder alloy, was prepared using an industrial high-pressure gas atomization method. Fig. 1 shows SEM and EDS maps of the CoCrFeNiMn powder. EDS maps for each element (Mn, Co, Cr, Fe, Ni) demonstrated uniform distribution across the powder particles with no visible segregation. Each element was present in almost equal atomic proportions, confirming the homogeneity of the powder. As can be seen, the particles have a spherical shape. This shape promotes uniform powder delivery during plasma spraying. Particles ranging in size from 32 μm to 45 μm were selected by particle sieving.

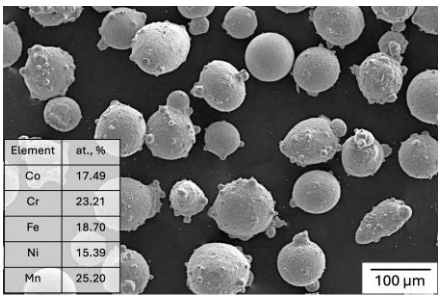


Figure 1 – Microstructure and elemental distribution of gas atomized CoCrFeNiMn powder

CoCrFeNiMn coatings were obtained by APS using an SX-60 plasma torch. Coatings were obtained at two secondary gas (hydrogen, H_2) flow rates of 1.7 and 1.9 L/min, respectively. The other spraying parameters included: arc current – 500 A, main gas (Ar) flow rate – 45 L/min, powder feed gas (N_2) flow rate – 8 L/min, and spraying distance – 100 mm. AISI 316L stainless steel was used as the substrate.

After APS spraying, the samples were cooled in air and then annealed in a vacuum furnace. The vacuum in the furnace was created to a level of 5×10^{-5} Pa using a vacuum pump. The samples were subjected to isochronous annealing at a temperature of 500°C. The duration of isochronous annealing was 2 hours, with the heating rate maintained at 10°C per minute. After annealing, the samples were cooled in a vacuum to room temperature. The coatings in their initial state, obtained at hydrogen flow rates of 1.7 L/min and 1.9 L/min, were designated APS 1 and APS 2, and the corresponding coatings after annealing were designated APS 1a and APS 2a.

X-ray diffraction (XRD) analysis of the powder and coating was performed on a PANalytical X'PertPRO diffractometer with Cu Kα radiation (λ = 0.154056 nm). The scanning range was from 20° to 90°, with a scanning speed of 0.02°/s. The obtained data were analyzed using HighScore Plus software to determine the crystal lattice parameters and phase composition.

The microstructure of the powder and the cross-section of the samples were studied using a CIQTEK SEM3200 autoemission scanning electron microscope at an accelerating voltage of 15 keV and a working distance of 10 mm. The chemical composition was analyzed using Bruker XFlash 730M-300 energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS).

The microhardness of the HECs was determined using the Vickers method with a METOLAB 502 microhardness tester at a load of 200 mN and an exposure time of 10 s. The average thickness of the coatings was about 100 μm. To increase the accuracy of the measurements, each coating was tested six times; the measurement points were arranged in a 3 × 3 matrix, and the distance between adjacent points was 40 μm.

The wear tests of the HEA coatings were performed using the ball-on-disc method with an Anton Paar TRB3 tribometer, where a 5 mm diameter 100Cr6 ball slid over the coating surface. The tests were conducted at a normal load of 10 N, an oscillation frequency of 30 Hz, a stroke length of 5 mm, and a total sliding length of 100 m. The temperature during the test was 23 °C, and the relative humidity was 62%. The amount of wear in the worn tracks was measured using an AMETEK Taylor Hobson Surtronic S-100 Series profilometer.

Results and discussion

X-ray phase analysis was performed to analyze the phase composition of CoCrFeNiMn coatings obtained under various air plasma spraying (APS) conditions and subsequent annealing. The obtained diffractograms are shown in Fig. 2. The initial CoCrFeNiMn powder exhibits a single-phase structure with a face-centered cubic (FCC) lattice, which is confirmed by the presence of characteristic peaks at 2θ ≈ 43.5°, 50.6°, and 74.3°, corresponding to reflections from the (111), (200) and (220) planes, respectively.

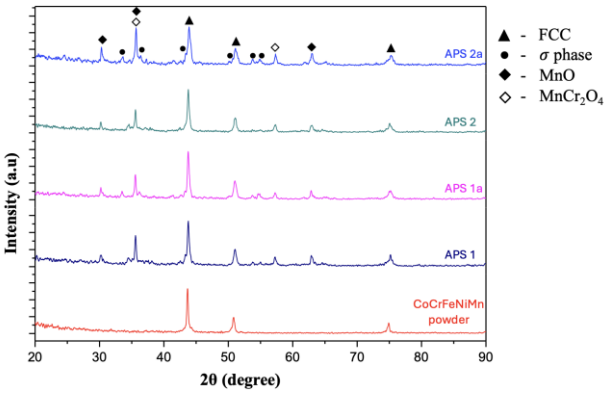


Figure 2 – XRD patterns of CoCrFeNiMn HEA powder, coatings and annealed coatings

In all sprayed coatings, the FCC phase is preserved, but an oxide peak appears at 35.6°, which intensifies after annealing, indicating an increase in the oxide content. $MnCr_2O_4$ and MnO phases were also detected. However, the nature and intensity of the additional peaks vary significantly depending on the spraying regime used and subsequent annealing. APS 1 and APS 2 coatings obtained without annealing demonstrate a stable FCC structure without pronounced secondary phases. This indicates the preservation of a homogeneous solid solution in both spraying regimes. After annealing at 500 °C, additional σ-phase peaks are observed in the coating, especially in APS 2a. The σ phase is an intermetallic compound formed as a result of phase segregation, mainly along the chromium. Its presence may indicate the initial signs of solid solution decomposition. It should be noted that in the APS 2a sample – i.e., after the spraying regime APS 2 and annealing – the largest number of secondary phases was recorded, including both intermetallic and oxide components. This indicates that APS 2a leads to enhanced phase transformations, probably due to higher energy density or particle temperature. Annealing at 500 °C promotes the nucleation of the σ phase and oxides.

Figure 3 shows the microstructure of the coatings, clearly revealing the characteristic layered structure typical of coatings formed by the APS method. In APS 1 coating (Fig. 3a), a relatively homogeneous structure with clearly defined boundaries of flattened particles is observed. The porosity is moderate, and the contact between the particle layers is dense. After annealing APS 1a (Fig. 3b), the structure becomes more compact, and the number of pores decreases slightly, which may be due to the activation of diffusion processes and partial recrystallization. In the case of the

coating obtained under the APS 2 regime (Fig. 3c), a greater number of rounded pores and irregularities are observed, and the particles themselves appear less melted compared to APS 1. This may indicate differences in the temperature and velocity of the particles at the moment of impact. APS 2a (Fig. 3d) has a more porous and heterogeneous structure, with pronounced formation of oxide inclusions.

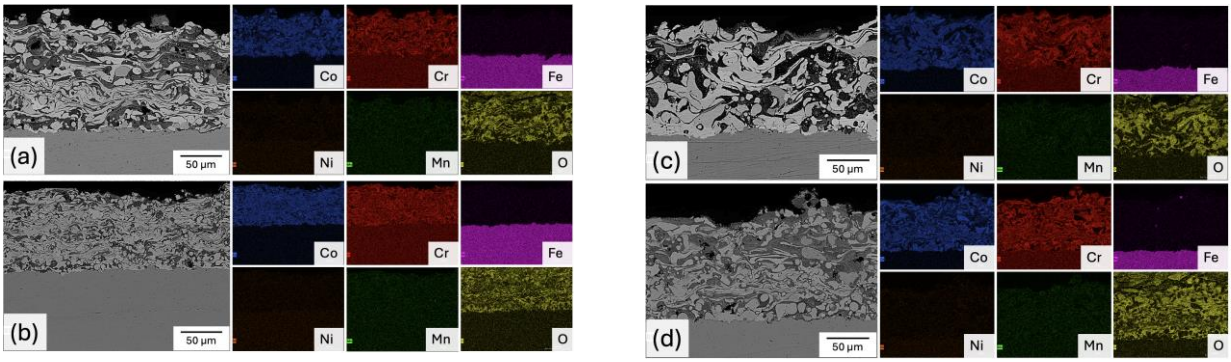


Figure 3 – Cross-sectional images with EDS maps of CoCrFeNiMn HECs:
(a) APS 1, (b) APS 1a, (c) APS 2 and (d) APS 2a

The distribution of the main elements (Co, Cr, Fe, Ni, Mn, and O) across the coating cross-section is also shown in Fig. 3. In all samples, a fairly uniform distribution of Co, Cr, Fe, Ni, and Mn is observed, which confirms the preservation of the chemical homogeneity of the original HEA. However, in the samples after annealing, a significant increase in oxygen content is observed, mainly in the upper part of the coating. This indicates the formation of oxide phases, which is consistent with the results of X-ray phase analysis and may be due to either oxygen penetration during heating or oxidation of unstable components such as Mn and Cr. In addition, areas of local enrichment of Cr and Mn are visually observed in the APS 2 and APS 2a coatings, which may be associated with the onset of solid solution decomposition and the formation of secondary phases, such as the σ phase or $MnCr_2O_4$-type oxides.

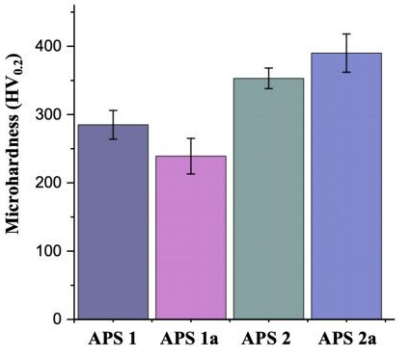


Figure 4 – Microhardness of CoCrFeNiMn HECs and annealed coatings

The microhardness of CoCrFeNiMn HEC coatings obtained under various APS regimes, as well as after annealing, is shown in Figure 4. Measurements were performed with a load of 200 g ($HV_{0.2}$) taking into account statistical error.

The coating obtained under the APS 1 deposition regime demonstrates an average microhardness of about 280 $HV_{0.2}$, which corresponds to the characteristic level for high-entropy alloys with a BCC structure. However, after annealing, a decrease in microhardness to ~250 $HV_{0.2}$ is observed. This may be due to recrystallization, a decrease in residual stresses and possible grain growth, as well as partial decomposition of the solid solution.

The highest microhardness values were recorded for the APS 2a coating – about 390 $HV_{0.2}$, which significantly exceeds all other samples. This increase may be associated with the formation of secondary phases (σ-phase, MnO and $MnCr_2O_4$ oxides) detected in X-ray phase analysis. Their presence contributes to strengthening through the mechanism of dispersion hardening. The APS 2 coating also demonstrates high hardness – about 350 $HV_{0.2}$, which is probably due to the higher kinetic energy of the particles and the dense structure formed during spraying in APS 2.

Figure 5 shows the results of abrasive wear tests, expressed as the specific wear rate for coatings obtained under various APS regimes, with and without subsequent annealing. Coatings formed under APS 1 and after APS 1a annealing show the lowest wear rates – about 3.3×10^{-4} $mm^3N^{-1}m^{-1}$ and 3.1×10^{-4} $mm^3N^{-1}m^{-1}$ respectively. This indicates the high wear resistance of these coatings. A slight decrease in wear after annealing may be due to improved cohesion between the coating particles, reduced porosity, and increased density due to diffusion compaction.

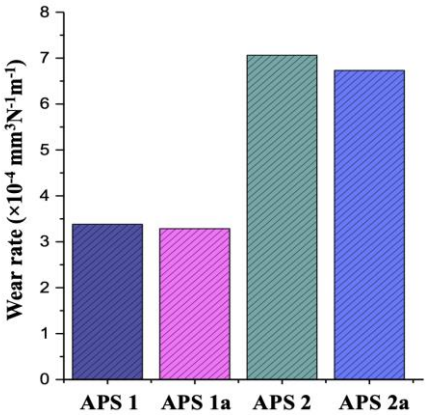


Figure 5 – Wear rates of CoCrFeNiMn HECs and annealed coatings.

In contrast, coatings obtained under the APS 2 regime and after annealing APS 2a show significantly higher wear rates – 7.0×10^{-4} $mm^3N^{-1}m^{-1}$ and 6.8×10^{-4} $mm^3H^{-1}m^{-1}$, respectively. Although the APS 2a sample showed the highest microhardness, its wear resistance was lower than that of all other samples. This may be due to increased brittleness, the formation of oxide phases (MnO, $MnCr_2O_4$), and σ-phase interphase boundaries identified in XRD analysis, which together contribute to the destruction of the coating during friction.

Conclusion

This work presents a comprehensive study of the influence of air plasma spraying regimes and subsequent annealing at 500°C on the phase composition, microstructure, and mechanical properties of coatings based on a high-entropy CoCrFeNiMn alloy. It was found that all coatings retain the main FCC phase, but in the APS 2 spraying regimes and APS 2a annealing, the formation of secondary phases – σ-phase and MnO and $MnCr_2O_4$ oxides – is observed.

SEM/EDS analysis showed that annealing contributes to an increase in oxygen content in the upper zone of the coating and may be accompanied by local enrichment of Cr and Mn. The highest microhardness was recorded in the APS 2a coating, which is associated with the formation of strengthening phases. However, the wear resistance of this coating was lower than that of APS 1 and APS 1a coatings, which is explained by increased brittleness and the development of phase heterogeneity.

Thus, the best balance between microhardness and wear resistance is achieved when using the APS 1 spraying and annealing regime. The results obtained emphasize the importance of optimizing spraying and annealing parameters when designing coatings based on high-entropy alloys for tribological applications.

References

1. Yeh J.W. Alloy design strategies and future trends in high-entropy alloys / J.W. Yeh // Jom. – 2013. – V. 65, V. 12. – P. 1759-1771.
2. The sliding wear behaviour of CoCrFeMnNi and AlxCoCrFeNi high entropy alloys at elevated temperatures / J. Joseph et al // Wear. – 2019. – T. 428. – P. 32-44.
3. Tensile yield strength of a single bulk Al0. 3CoCrFeNi high entropy alloy can be tuned from 160 MPa to 1800 MPa / B. Gwalani et al // Scripta Materialia. – 2019. – T. 162. – P. 18-23.
4. Development and exploration of refractory high entropy alloys – A review / O.N. Senkov et al // Journal of materials research. – 2018. – T. 33, V. 19. – P. 3092-3128.
5. An investigation on the wear and corrosion resistance of AlCoCrFeNi high-entropy alloy coatings enhanced by Ti and Si / Z. Li et al // Surface and Coatings Technology. – 2024. – T. 487. – P. 130949.
6. Corrosion resistance of CoCrFeNiMn high entropy alloy coating prepared through plasma transfer arc claddings / P.H. Gao et al // Metals. – 2021. – T. 11, V. 11. – P. 1876.

7. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys / B. Cantor et al // Materials Science and Engineering: A. – 2004. – T. 375. – P. 213-218.
8. Nong Z.S. Wear and oxidation resistances of AlCrFeNiTi-based high entropy alloys / Z.S. Nong, Y.N. Lei, J.C. Zhu // Intermetallics. – 2018. – T. 101. – P. 144-151.
9. Sun H. Unveiling the effect of vacuum heat treatment on HVOF-sprayed high entropy cantor alloy coatings: Microstructure, diffusion behavior and mechanical property / H. Sun, H. Ding, T. Liu // Journal of Materials Research and Technology. – 2024. – T. 33. – P. 9033-9043.
10. Function of Si on the microstructure, mechanical property and high temperature corrosion resistance of TiAlMoNbWSix HEA film / H. Zhang et al // Materials Chemistry and Physics. – 2024. – T. 319. – P. 129336.
11. Investigation of hardness, tribological and adhesion properties of TiAlNiVN HEA films heat treated at different temperatures / A.M. Yılmaz et al // Tribology International. – 2024. – T. 197. – P. 109739.
12. Wear-induced microstructural evolution in CoCrNi-based high-entropy alloys at cryogenic temperature / Y. Geng et al // Materials Science and Engineering: A. – 2024. – T. 894. – P. 146185.
13. Phase evolution and solidification cracking sensibility in laser remelting treatment of the plasma-sprayed CrMnFeCoNi high entropy alloy coating / C. Wang et al // Materials & Design. – 2019. – T. 182. – P. 108040.
14. On the study of thermal-sprayed Ni0. 2Co0. 6Fe0. 2CrSi0. 2AlTi0. 2 HEA overlay coating / W.L. Hsu et al // Surface and Coatings Technology. – 2017. – T. 316. – P. 71-74.
15. Thermal sprayed high-entropy NiCo0. 6Fe0. 2Cr1. 5SiAlTi0. 2 coating with improved mechanical properties and oxidation resistance / W.L. Hsu et al // Intermetallics. – 2017. – T. 89. – P. 105-110.
16. The microstructure and strengthening mechanism of thermal spray coating NixCo0. 6Fe0. 2CrySizAlTi0. 2 high-entropy alloys / L.M. Wang et al // Materials Chemistry and Physics. – 2011. – T. 126, V. 3. – P. 880-885.
17. Wear behavior of HVOF-sprayed Al0. 6TiCrFeCoNi high entropy alloy coatings at different temperatures / L. Chen et al // Surface and Coatings Technology. – 2019. – T. 358. – P. 215-222.
18. Deposition of FeCoNiCrMn high entropy alloy (HEA) coating via cold spraying / S. Yin et al // Journal of Materials Science & Technology. – 2019. – T. 35, V. 6. – P. 1003-1007.

Research funding

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP22787411).

Е.Е. Қамбаров*
«Беттік инженерия және трибология» ҒЗО, С. Аманжолов атындағы университет,
070002, Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы, 30-Гвардиялық дивизия көшесі, 34
*e-mail: yedilzhan@mail.ru

ПЛАЗМАЛЫҚ ТОЗАҢДАТУ ӘДІСІМЕН АЛЫНҒАН COCRFENIMN ЖОҒАРЫ ЭНТРОПИЯЛЫ ЖАБЫНДАРДЫҢ МИКРОҚҰРЫЛЫМЫНА ЖӘНЕ ТОЗУҒА ТӨЗІМДІЛІГІНЕ ТОЗАҢДАТУ ЖӘНЕ ВАКУУМДЫҚ КҮЙДІРУ РЕЖИМІНІҢ ӘСЕРІ

Бұл зерттеуде жоғары энтропиялы CoCrFeNiMn қорытпасы негізіндегі жабындар 316L тот баспайтын болаттан жасалған төсеніштерге екі түрлі режимде ауа-плазмалық тозаңдату арқылы жағылды. Тозаңдатудан кейін жабындар 500°C температурада вакуумдық күйдіруге ұшырады. Жұмыстың мақсаты сутегі ағынының жылдамдығы мен кейінгі күйдірудің жабынның фазалық құрамына, микроқұрылымына және механикалық қасиеттеріне әсерін зерттеу болды. Рентгендік фазалық талдау барлық үлгілерде гранецентрленген кубтық (ГЦК) құрылым басым екенін көрсетті, бірақ күйдіруден кейін, әсіресе APS 2 режимінде σ-фазасы мен MnO және MnCr2O4 оксидтік фазаларының түзілуі байқалды. СЭМ/ЭРС деректері бойынша ауа-плазмалық тозаңдатумен тозаңдатылған жабынға тән қабатты микроқұрылым және қыздырудан кейін жабынның жоғарғы аймағында оттегінің жоғарылауы анықталды 390 HV0,2 ең жоғары микроқаттылық APS 2а жабындысы үшін тіркелді, бұл қатты екіншілік фазалардың пайда болуымен байланысты. Дегенмен, тозуға сынаулар көрсеткендей, ең жақсы тозуға төзімділік APS 1 және APS 1а режимдерін қолдана отырып алынған жабындарда байқалды, өйткені фазалық құрылым тұрақтырақ және тотығуға бейімділігі аз. Алынған нәтижелер үйкеліс және тозу жағдайында ЖЭҚ негізіндегі жабындардың

пайдалану сипаттамаларын жақсарту үшін тозаңдату параметрлері мен жұмсарту шарттарын кешенді оңтайландырудың маңыздылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: *жоғары энтропиялық қорытпалар, жабын, ауа-плазмалық бүрку, механикалық қасиеттер, микроқұрылым.*

Е.Е. Камбаров*
НИЦ «Инженерия поверхностей и трибология», Университет имени С. Аманжолова,
070002, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул.30-ой Гвардейской дивизии, 34
*e-mail: yedilzhan@mail.ru

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА НАПЫЛЕНИЯ И ВАКУУМНОГО ОТЖИГА НА МИКРОСТРУКТУРУ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ПОКРЫТИЙ COCRFENIMN ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

В данном исследовании покрытия на основе высокоэнтропийного сплава CoCrFeNiMn были нанесены на подложки из нержавеющей стали 316L с помощью воздушно-плазменного напыления с двумя различными режимами. После напыления покрытия были подвергнуты вакуумному отжигу при 500°C. Целью работы было изучение влияния скорости потока водорода и последующего отжига на фазовый состав, микроструктуру и механические свойства покрытий. Рентгеновский фазовый анализ показал, что во всех образцах преобладает гранецентрированная кубическая (ГЦК) структура, но после отжига, особенно в режиме APS 2, наблюдается образование σ-фазы и оксидных фаз MnO и $MnCr_2O_4$. По данным РЭМ/ЭРС установлена слоистая микроструктура, типичная для напыленных воздушно-плазменным распылением покрытий, и повышенное содержание кислорода в верхней зоне покрытий после отжига. Наибольшая микротвердость 390 $HV_{0,2}$ была зафиксирована для покрытия APS 2a, что связано с образованием твердых вторичных фаз. Однако испытания на износ показали, что наилучшая износостойкость наблюдалась у покрытий, полученных с использованием режимов APS 1 и APS 1a, благодаря более стабильной фазовой структуре и меньшей склонности к окислению. Полученные результаты подчеркивают важность комплексной оптимизации параметров напыления и условий отжига для улучшения эксплуатационных характеристик покрытий на основе ВЭС в условиях трения и износа.

Ключевые слова: *высокоэнтропийные сплавы, покрытие, воздушно-плазменное напыление, механические свойства, микроструктура.*

Information about the authors

Yedilzhan Yerzhanuly Kambarov – Researcher at RC «Surface engineering and Tribology», S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: yedilzhan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0838-6724.

Авторлар туралы мәліметтер

Еділжан Ержанұлы Қамбаров – «Беттік инженерия және трибология» ҒЗО ғылыми қызметкері, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан Республикасы; e-mail: yedilzhan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0838-6724.

Сведения об авторах

Едилжан Ержанулы Камбаров – Научный сотрудник НИЦ «Инженерия поверхности и трибология», Восточно-Казахстанский Университет имени С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Республика Казахстан; e-mail: yedilzhan@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0838-6724.

Received 04.08.2025
Revised 14.08.2025
Accepted 18.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-56

ҒТАХР: 81.93.39

BY 4.0
Check for updates

Н.Н. Кусбергенова*, В. Мукамеденқызы
Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, Әл-Фараби даңғылы, 71
*e-mail: nargiz.kusbergenova@mail.ru

ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРА МЕН ЖЫЛУЛЫҚ СӘУЛЕЛЕНУ ЖАҒДАЙЫНДА ЖЕКЕ ҚОРҒАНЫС ҚҰРАЛДАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН ЖЫЛУФИЗИКАЛЫҚ БАҒАЛАУ

Аңдатпа: *Бұл мақалада өндірістік және төтенше жағдайларда қолданылатын жеке қорғаныс құралдарының (ЖҚҚ) жылуфизикалық сипаттамаларына кешенді талдау жүргізілді. Жоғары температура мен сәулелік жылу ағыны жағдайында адам ағзасын термиялық зақымданудан қорғау – басты міндеттердің бірі болып саналады. Зерттеу барысында үш түрлі материалдың жылуөткізгіштік, жылусыйымдылық, термиялық төзімділік және инфрақызыл сәуле шағылту қасиеттері зертханалық сынақтар арқылы және COMSOL Multiphysics платформасындағы модельдеу әдісімен бағаланды. Сонымен қатар, өндірістік ортада жұмыс істейтін қызметкерлер арасында сауалнама жүргізіліп, ЖҚҚ-ның шынайы қолдану тиімділігі анықталды. Алынған нәтижелер ЖҚҚ-ның әртүрлі типтерінің нақты жұмыс жағдайларындағы жарамдылығын ғылыми тұрғыда бағалауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде олардың құрылымын жетілдіру, жаңа буын қорғаныс киімдерін жасау және өндірістік қауіпсіздік деңгейін арттыру бойынша практикалық ұсыныстар әзірлеуге негіз болады.*

Зерттеу нәтижелері химия, металлургия, мұнай-газ және өрт сөндіру салаларындағы ЖҚҚ сапасын жақсартуға бағытталған. Сонымен қатар, болашақ зерттеулерде материалдың эргономикасы мен адам физиологиясына әсерін, сондай-ақ смарт-датчиктермен біріктіру мүмкіндігін кешенді бағалау ұсынылады. Мұндай ғылыми негізделген тәсілдер тек қауіпсіздікті емес, жұмысшылардың өмір сүру сапасын да арттыруға септігін тигізеді.

Түйін сөздер: *жеке қорғаныс құралдары, жылуөткізгіштік, термиялық төзімділік, сәулелік шағылысу, экстремалды орта.*

Кіріспе

Қазіргі өндірістік ортада қызметкерлер көбіне экстремалды жағдайда, әсіресе жоғары температура мен жылулық сәулелену әсерінде жұмыс істейді, бұл адамның физиологиялық жүйесіне айтарлықтай жүктеме түсіреді. Осындай жағдайда жеке қорғаныс құралдары (ЖҚҚ) – жұмысшыны механикалық зақымданудан ғана емес, термиялық күйіктерден, сәулелік жылу мен инфрақызыл сәулеленуден қорғаудың негізгі тетігі. Олардың тиімділігі материалдың жылуөткізгіштік коэффициенті (жылуды өткізу жылдамдығы), меншікті жылусыйымдылығы (жылуды жинақтау қабілеті) және сәулелік шағылу коэффициенті (инфрақызыл сәулені кері қайтару қабілеті) сияқты жылуфизикалық сипаттамалардың үйлесіміне байланысты анықталады.

Соңғы жылдары халықаралық зерттеулерде ЖҚҚ материалдарының тиімділігін арттыруға маңызды жетістіктерге қол жеткізілді. Park және әріптестері (2023) арамид талшықтарының көпқабатты құрылымдарын зерттеп, жоғары температураға төзімділікті жақсарту жолдарын ұсынды; Li мен Zhou (2024) наноқаптамалар арқылы инфрақызыл шағылысуды күшейтіп, сәулелік жылуды азайтудың тиімді әдістерін көрсетті; Gholamreza және т.б. (2021) көпқабатты қорғаныс маталарының жылуөткізгіштік қасиеттерін және құрылымдық параметрлерінің жылу тұрақтылығына әсерін дәлелдеді. Қазақстанда жоғары температура мен сәулелік жылу ағыны әсеріндегі ЖҚҚ-ны кешенді жылуфизикалық тұрғыдан зерттеу аз, сондықтан бұл жұмыс отандық және халықаралық тәжірибені біріктіріп, нақты материалдардың тиімділігін анықтауға бағытталған [1, 45 б].

Зерттеудің мақсаты – өндірістік және төтенше жағдайларда қолданылатын үш ЖҚҚ материалының жылуфизикалық қасиеттерін кешенді зерттеп, олардың тиімділігін салыстырмалы талдау арқылы анықтау. Материалдар лазерлік флэш әдісі, дифференциалды калориметрия және инфрақызыл спектроскопиямен зерттеліп, COMSOL Multiphysics платформасында адам терісі мен материал арасындағы жылуалмасу модельденді. Алынған нәтижелер өндірістік қауіпсіздік стандарттарын жетілдіруге, жаңа буын ЖҚҚ жасауда және термиялық тәуекті азайтуда қолдануға бағытталған.

Тәжірибелік бөлім

Жеке қорғаныс құралдарын (ЖҚҚ) зерттеу барысында әлемдік деңгейде танылған бірқатар еңбектер қарастырылды. F.Hoffmann-ның «Thermal Conductivity Measurement Techniques» еңбегі материалдардың жылуөткізгіштігін бағалау әдістерін теориялық және тәжірибелік тұрғыдан түсіндіреді [2]. Chen, Wang және Li авторлығымен шыққан «Protective Clothing Performance Evaluation» мақаласында ЖҚҚ-ның тиімділігі мен адам физиологиясы арасындағы байланыс жүйелі талданған. Мұндай еңбектер теорияны қолданбалы зерттеулермен ұштастырып, отандық жұмыстарға үлгі болады. Зерттеуде осындай дереккөздерге сілтеме жасау ғылыми адалдық пен кәсіби жауапкершілікті көрсетеді [3].

Соңғы бес жылдағы басты үрдістер – материалдардың жылуфизикалық қасиеттерін жақсарту, көпқабатты құрылымдар және нанотехнологиялар арқылы сәулелік шағылу мен жылуөткізгіштікті басқару. 2025 жылы RSC Advances функционалдық жабындардың отқа төзімділік, микробқа қарсы және өзін-өзі тазалау қасиеттерін арттыруын көрсетті [7]. Nano-Micro Letters FP-12-6 матасының күн сәулесін шағылыстырып, жылуды шығаруға қабілеттілігін анықтады [8]. 2024 жылы Cell Reports Physical Science наноқұрылымды текстильдердің сәулелік жылуды басқаруын, Science Advances температураға бейімделетін фотондық материалдарды сипаттады [9, 10]. Journal of Materials Science арамид наноталшықты полисульфон нанокомпозиттерін перспективалы деп атады [11].

Зерттеулер ЖҚҚ-ның көп функциялы маңыздылығын көрсетеді. Қазақстанда мұндай зерттеулер аз болғандықтан, халықаралық тәжірибені отандық жағдайға бейімдеу қажет. Қазақстандық ғалымдар ЖҚҚ-ны дұрыс таңдаудың қауіптерді азайтудағы рөлін дәлелдеп, материалдық құрам мен жылу төзімділікті зерттеп, отандық өнімдерді шетелдік үлгілермен салыстырады. Олар инновациялық технологиялар мен ғылыми сараптаманың қажеттігін атап, қауіпсіз еңбек ортасын қалыптастыруға үлес қосады.

ASTM, ISO және EN сияқты халықаралық стандарттарды білу ЖҚҚ зерттеушісі үшін міндетті, себебі олар нақты талаптар мен әдістемелерді белгілеп, зерттеу нәтижелерінің халықаралық деңгейде мойындалуына ықпал етеді. Сілтеме жасау жұмыстың сапасы мен беделін арттырады, әдебиетті меңгеру мен басқа зерттеулермен салыстыру жалған тұжырымдардан сақтайды және ғылыми этикаға сәйкес болуға мүмкіндік береді. Әлемдік тәжірибе отандық жағдайға бейімделген тиімді шешімдер ұсынуға жол ашады [4].

Зерттеу әдісі мен материалдары

Зерттеу үшін өндірістік және төтенше жағдайларда жиі қолданылатын үш түрлі қорғаныс материалы таңдалды. Таңдау кезінде олардың өндірістік ортадағы қолданыс жиілігі, термиялық жүктемеге төзімділігі және халықаралық стандарттарға сәйкестігі ескерілді. Бұл үш материал өндірісте жиі кездесетін үш түрлі технологиялық ортада – жоғары температура, сәулелік жылу ағыны және ашық жалын әсерінде – қолданылатын үлгілерді бейнелеу үшін таңдалды. Әр материалдың физикалық сипаттамалары, қалыңдығы, тығыздығы, өндірушісі және қолданылатын негізгі саласы 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Зерттелген материалдардың сипаттамалары

Материал коды, құрамы және түрі	Қалыңдығы, мм	Тығыздығы, г/м²	Өндіруші ел	Негізгі қолданылу саласы
М1 – Арамид талшығынан тоқылған мата (Nomex® типі)	0,65	240	АҚШ (DuPont)	Өрт сөндіру киімдері, металлургиялық қорғаныс костюмдері
М2 – Алюминий қабаты бар арамид мата (қорғаныс жабыны 25 мкм)	0,70	255	Нидерланд (TenCate Protective Fabrics)	Инфрақызыл сәуледен қорғайтын арнайы киімдер
М3 – Арнайы химиялық өңделген жанбайтын мақта	0,80	320	Ұлыбритания (Carrington Textiles)	Дәнекерлеу және жеңіл өнеркәсіптегі қорғаныс киімдері

Сынақ шарттары

Барлық сынақтар Алматы қаласындағы физика-техникалық зертханада жүргізілді. Өлшеу процестері ISO 13506:2022 және ASTM F1939-15 стандарттарының талаптарына толық сәйкес орындалды.

Сынақтар 150°C, 300°C және 450°C температурада, 20, 35 және 50 кВт/м² сәулелік жылу ағынында, 60, 180 және 300 секунд әсер ету уақытымен, 101,3 кПа атмосфералық қысымда және 45 ± 5 % салыстырмалы ауа ылғалдылығында жүргізіліп, әр сынақ үш рет қайталанып, орташа мәндері есептелді.

Өлшеу әдістері және құрал-жабдықтар

Материалдардың жылуфизикалық қасиеттерін анықтау үшін заманауи жоғары дәлдікті құралдар пайдаланылды: жылуөткізгіштік коэффициенті (λ) – Netzsch LFA 467 HyperFlash лазерлік флэш әдісімен, дәлдігі ±3%; меншікті жылусыйымдылық (c) – Mettler Toledo DSC 3+ дифференциалды сканерлеуші калориметрия әдісімен, дәлдігі ±2 %; сәулелік шағылу коэффициенті – Bruker Vertex 70 FTIR спектрометрі арқылы, толқын ұзындығы 0,7-25 мкм диапазонында, дәлдігі ±1%; термиялық төзімділік уақыты – Carbolite Gero жоғары температуралы пешінде, дәлдігі ±1°C.

COMSOL Multiphysics модельдеу әдістемесі

Жылуөткізгіштік процестерін сандық модельдеу үшін COMSOL Multiphysics 6.1 бағдарламасының Heat Transfer in Solids модулі пайдаланылды. Бұл әдістеме күрделі физикалық және инженерлік процестердің жұмыс заңдылықтарын талдауға, түрлі жағдайларда жүйенің мінез-құлқын болжауға және тәжірибе жүргізуге кететін уақыт пен шығынды азайта отырып, зерттелетін нысанның виртуалды моделін құруға мүмкіндік береді.

Модельдеу 2D transient heat conduction түрінде, қалыңдығы 0,65-0,80 мм пластина (төменгі беті адамның терісімен жанасатын аймақ) геометриясында, өлшемі 1 мм үшбұрышты торда, 0,1 секундтық уақыт қадамымен және 300 секунд жалпы уақыт аралығында, конвергенция критерийі 10^{-6}, бастапқы температурасы 25 °C, сәулелік жылу ағыны 20, 35 және 50 кВт/м² сценарийлерінде, жоғарғы беті сәулелік және конвективтік жылу ағынының қосындысы (Heat Flux Boundary Condition), төменгі беті адамның терісіне тең тұрақты температура (Tskin = 37 °C) болып, материалдық қасиеттері (λ, c және ρ) зертханалық өлшеулерден алынған мәндермен беріліп орындалды.

Модель нәтижелері мен тәжірибелік деректер арасындағы салыстыру ±5 % шегінде сәйкестік көрсетті.

Жылуфизикалық өлшеу нәтижелері (2 кесте)

Кесте 2 – Материалдардың жылуфизикалық параметрлері (орташа мән ± стандартты қате)

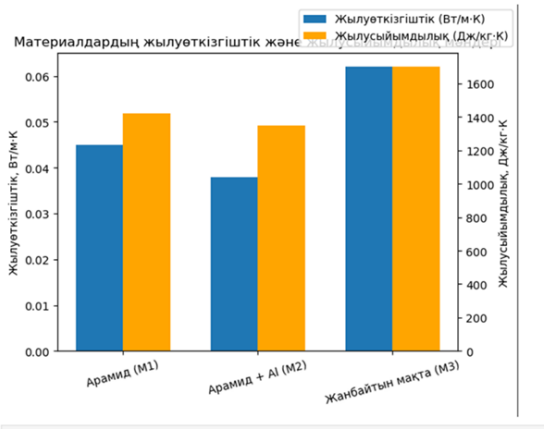
Материал	λ, Вт/(м·К)	c, Дж/(кг·К)	Сәулелік шағылу, %	Термиялық төзімділік уақыты (450 °C, с)
М1 – Арамид	0,045 ± 0,002	1420 ± 25	18 ± 1	270 ± 5
М2 – Арамид + Al	0,038 ± 0,002	1350 ± 20	82 ± 2	240 ± 4
М3 – Жанбайтын мақта	0,062 ± 0,003	1700 ± 30	12 ± 1	180 ± 5

Статистикалық өңдеу

Барлық деректер Microsoft Excel және OriginPro 2023 бағдарламаларында талданып, нәтижелер орташа мән ± стандартты қате түрінде беріліп, 95 % сенімділік интервалдары есептелді, материалдар арасындағы айырмашылық бір факторлы дисперсиялық талдау (ANOVA) арқылы, ал сауалнама нәтижелері мен термиялық төзімділік уақытының байланысы Пирсон корреляция коэффициентімен ($r = 0,78$; $p < 0,05$) бағаланды.

Зертханалық сынақтар нәтижесінде алынған жылуөткізгіштік (λ), меншікті жылусыйымдылық (c), сәулелік шағылу коэффициенті және термиялық төзімділік уақыты мәндері 2-кестеде көрсетілді. Деректер үш қайталау нәтижесінде алынған орташа мәндер және стандартты қателікпен берілді.

Талдау нәтижесінде арамид матасының жылуөткізгіштік коэффициенті ең төмен – 0,045 Вт/(м·К), бұл оның жылуды баяу өткізу қабілетінің жоғары екенін көрсетеді. Алюминий жабыны бар арамид сәулелік шағылу көрсеткіші бойынша (82%) басым болғанымен, қалыңдығының аздығынан ішкі қабаты жылдам қызады. Ал жанбайтын мақта меншікті жылусыйымдылығының (1700 Дж/(кг·К)) жоғары болуына қарамастан, жылуөткізгіштігінің салыстырмалы түрде үлкен мәні оның жоғары температураға ұзақ төтеп беруін шектейді. 1 – суретте материалдардың жылуөткізгіштік және жылусыйымдылық мәндерін салыстыру диаграммасы бейнеленген.

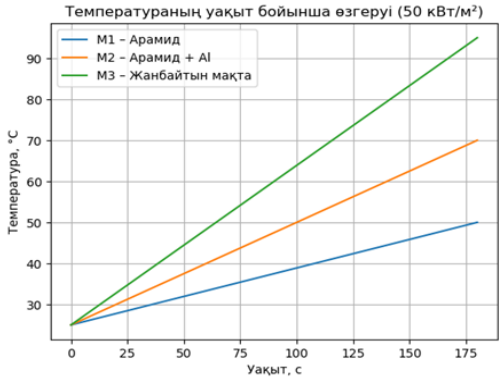


Сурет 1 – Материалдардың жылуөткізгіштік және жылусыйымдылық мәндерін салыстыру диаграммасы

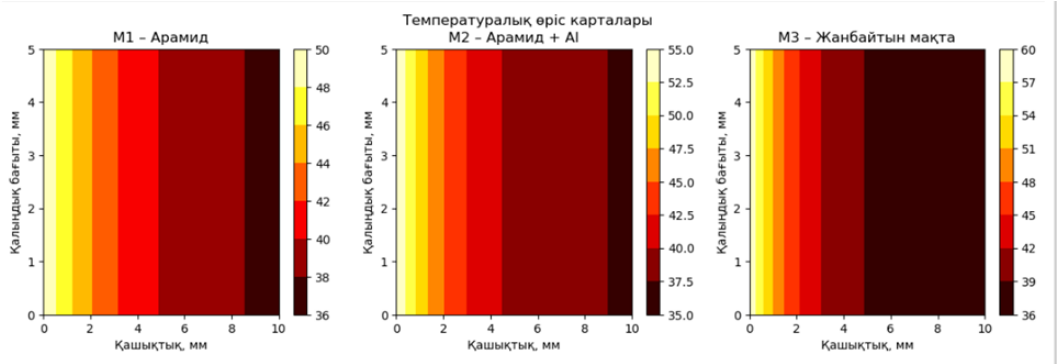
COMSOL Multiphysics модельдеу нәтижелері

Модельдеу кезінде үш түрлі материал үшін 20, 35 және 50 кВт/м² сәулелік жылу ағыны жағдайында ішкі қабаттың температурасының уақыт бойынша өзгерісі есептелді.

Негізгі нәтижелер бойынша, 50 кВт/м² сәулелік жылу ағыны жағдайында М1 (арамид) материалының ішкі температурасы 180 секундта 50°С-қа жетті, М2 (арамид + алюминий жабыны) – 120 секундта 55°С-қа, ал М3 (жанбайтын мақта) – 90 секундта 60 °С-қа жетті. Бұл көрсеткіштер материалдың жылуөткізгіштік қасиеттерінің ғана емес, құрылымдық ерекшеліктерінің де маңызды екенін дәлелдейді (Сурет 2, 3).



Сурет 2 – COMSOL моделінде температураның уақыт бойынша өзгерісін көрсететін график



Сурет 3 – 50 кВт/м² жылу ағынында температуралық өріс картасы (әр материал үшін жеке)

Сауалнама нәтижелері мен физикалық деректердің байланысы

Бұл зерттеуде сандық (quantitative) зерттеу әдісі қолданылды. Негізгі дерек жинау құралы ретінде онлайн сауалнама пайдаланылды. Сауалнама Google Forms платформасында дайындалып, өндірістік ортада жұмыс істейтін қызметкерлер арасында таратылды. Бұл әдіс респонденттердің пікірін жүйелі түрде жинап, талдауға және ЖҚҚ-ның шынайы тиімділігін бағалауға мүмкіндік берді.

Сауалнама құрылымы

Сауалнама 15 сұрақтан тұрып, келесі мазмұндық блоктарды қамтыды: жалпы мәліметтер (жасы, еңбек өтілі, мамандық саласы); ЖҚҚ қолдану тәжірибесі (қолдану жиілігі, жағдайы, сенімділігі); ЖҚҚ тиімділігі туралы пікірлер (жылу сақтауы, ыңғайлылығы, қауіпсіздік деңгейі); сондай-ақ қиындықтар мен ұсыныстар (жабық сұрақтар арқылы).

Барлық сұрақтар жабық түрге негізделді, яғни респондент тек ұсынылған жауап нұсқаларын таңдады. Бұл нәтижелерді сандық талдауға мүмкіндік берді.

Респонденттер құрамы

Сауалнамаға барлығы 52 респондент қатысты. Олардың кәсіби салалары төмендегідей бөлінді (3 – кесте).

Кесте 3 – Кәсіби салалар бойынша қатысушыладың саны

Сала атауы	Қатысушылар саны
Өрт сөндіру қызметі	17
Металлургия	14
Мұнай және газ саласы	12
Химия өндірісі	9

Респонденттердің еңбек өтілі 1 жылдан 20 жылға дейінгі аралықта болды. Бұл мәліметтер зерттеу нәтижелерін түрлі тәжірибе деңгейі тұрғысынан салыстыруға мүмкіндік берді.

Деректерді өңдеу тәсілі: Жиналған мәліметтер Microsoft Excel бағдарламасына экспортталып, пайыздық үлесте, жиілікпен және диаграммалар арқылы өңделді. Әр жауап көрсеткіші жүйелі кестелерге енгізіліп, негізгі тенденциялар мен ортақ пікірлер анықталды [5].

Деректерді визуализациялау

Сауалнама нәтижелерін тереңірек талдау мақсатында мен Python бағдарламалау тілінде арнайы код жазып, алынған мәліметтерді визуализациялау жүргізілді. Бұл үшін matplotlib және pandas кітапханалары қолданылды. Әсіресе, жеке қорғаныс құралдарының (ЖҚҚ) тиімділігіне қатысты бірнеше критерийді (мысалы: жылуөткізгіштікке қанағаттану, ыңғайлылық, қорғаныс деңгейі, жұмысқа әсері және т.б.) бір уақытта салыстыруға мүмкіндік беретін радиалды диаграмма (radar chart) таңдалды.

Radar chart (4 – сурет) – бірнеше параметрді бір уақытта көрсетуге мүмкіндік беретін график, ол респонденттердің бағалауындағы негізгі трендтер мен айырмашылықтарды айқындап, ЖҚҚ-ның күшті және әлсіз жақтарын анықтады. Excel деректерінен әр критерийдің орташа мәндері есептеліп, осы негізде радиалды диаграмма салынды, нәтижелері келесі бөлімдегі талдаумен үйлестірілді.

Сурет 4 – «Radar Chat» ЖҚҚ тиімділігі бойынша радиалды талдау

Сауалнама арқылы алынған деректер зерттеу мақсатына сай ЖҚҚ-ның нақты қолдану тиімділігін бағалауға, олардың жылуфизикалық қасиеттерін пайдаланушылар тәжірибесімен байланыстыруға негіз болды. Бұл әдіс алынған эксперименттік нәтижелерге қосымша ретінде нақты әрі объективті ақпарат ұсынды [6].

Жалпы талқылау

Алынған нәтижелер арамид матасының экстремалды температура жағдайында ең тиімді қорғаныс деңгейін қамтамасыз ететінін дәлелдейді. Бұл материалдың төмен жылуөткізгіштік коэффициенті мен жоғары термиялық төзімділігі оның артықшылығын қамтамасыз етеді. Алюминий жабыны бар арамид сәулелік жылу әсерінен жақсы қорғаса да, ұзақ мерзімді экспозицияда ішкі қызудың алдын алу үшін қосымша оқшаулау қабаты қажет. Жанбайтын мақта экологиялық тұрғыдан тиімді, бірақ жылу оқшаулау қабілеті төмен болғандықтан оны тек орташа температура жағдайында қолдану орынды. Бұл деректер ЖҚҚ конструкцияларын жобалау кезінде материалдардың жылуфизикалық параметрлерін кешенді түрде ескерудің маңыздылығын айқындайды.

Болашақ зерттеулерге ұсыныс:

Жеке қорғаныс құралдарын (ЖҚҚ) бағалау кезінде тек жылуфизикалық қасиеттермен шектелмей, қатар эргономика мен адам ағзасының физиологиясына әсерін де кешенді қарастыру қажет. Болашақ зерттеулерде ұзақ уақыт бойы ЖҚҚ пайдалану кезінде жүрек соғысы, терлеу, қозғалыс еркіндігі және жайлылық параметрлерін өлшеу ұсынылады, бұл тиімді әрі қауіпсіз қорғаныс құралдарын жасауды қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, пайдаланушылардың психологиялық жай-күйін ескере отырып, смарт-технологиялар – температура, ылғалдылық және зиянды газдарды бақылау сенсорлары бар киімдерді енгізу маңызды. Бұдан басқа, отандық материалдардың сапасы мен экологиялық қауіпсіздігін шетелдік аналогтармен салыстырып, бәсекеге қабілетті шешімдер ұсыну болашақ зерттеулердің өзекті бағыты болып табылады, бұл ЖҚҚ сапасын арттырып, өндірістік қауіпсіздікті және отандық өнімдердің нарықтағы орнын нығайтады.

Қорытынды

Бұл зерттеу жұмысы өндірістік ортада қолданылатын жеке қорғаныс құралдарының (ЖҚҚ) жылуфизикалық қасиеттерін кешенді талдауға арналды. Жоғары температура мен сәулелік жылу жағдайларында қызметкерлердің қауіпсіздігі қорғаныс құралдарының тиімділігімен қатар, оларды ғылыми негізделген стандарттарға сәйкес таңдаумен анықталатыны көрсетілді.

Зерттеу әдістері ретінде сауалнама жүргізу және жылуөткізгіштік пен сәулелік шағылысу параметрлерін модельдеу қолданылды. Нәтижелер бойынша арамид негізіндегі киімнің жылу өткізгіштігі төмен болып, тиімді қорғаныс беретіні анықталды. Алюминий жабыны бар арамид сәулелік жылуды тиімді шағылыстырғанымен, ішкі қабат қызуы жоғарылады. Жанбайтын мақта экологиялық тұрғыдан тиімді болғанымен, жоғары температура жағдайында қолдану мүмкіндігі шектеулі екені дәлелденді. Сауалнама нәтижелері мамандардың материалдардың қорғаныс деңгейін жоғары бағалайтынын, алайда ұзақ уақыт қолдану кезінде қолайлылықтың шектеулі болатынын көрсетті.

Зерттеу нәтижелері ЖҚҚ-ны жобалау және бағалау барысында жылуфизикалық қасиеттермен қатар эргономикалық көрсеткіштерді ескеру қажеттігін айқындады.

Әдебиеттер тізімі

1. Hoffmann F. Thermal Conductivity Measurement Techniques / F. Hoffmann // Springer. – 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40652-5
2. Chen L. Protective Clothing Performance Evaluation / L. Chen, X. Wang, Z. Li // Journal of Safety Science. – 2020. – Т. 130. – P. 104-112. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104888.
3. ASTM International. ASTM F1939-15: Radiant Heat Resistance of Clothing. – 2015. – https://www.astm.org/f1939-15.html.
4. Multilayer Protective Fabrics Thermal Behavior / M. Gholamreza et al // Fibers and Polymers. – 2021. – Т. 22, № 4. – P. 888-897. https://doi.org/10.1007/s12221-021-0021-7.
5. ISO. ISO 13506: Protective Clothing against Heat and Flame – Thermal Manikin Test Method. – 2022. https://www.iso.org/standard/79962.html.
6. Қабдол А.М. Жоғары температура жағдайында жұмыс істейтін арнайы киімдердің материалдарын термографиялық бағалау / А.М. Қабдол, Т.Т. Байменов // Қазақстан Инженерлік Журналы. – 2022. – № 2(58). – Б. 27-34. https://kzengineering.kz/2022/02/16/jqq-thermal-paper.
7. Functional coatings for textiles: advancements in flame resistance, antimicrobial defense, and self-cleaning performance / J. Ghosh et al // Published by the Royal Society of Chemistry. – 2025. – № 15. – P. 10984–11022. https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2025/ra/d5ra01429h.

8. Selective Emission Fabric for Indoor and Outdoor Passive Radiative Cooling in Personal Thermal Management / Haijiao Yu et al // Nano-Micro Lett. – 2025. – № 17. – P. 192. https://link.springer.com/article/10.1007/s40820-025-01713-4.
9. Nanotechnology-empowered radiative cooling and warming textiles / K.M. Faridul Hasan et al // Cell Reports Physical. – 2024. – Science 5. – P. 102108. https://www.cell.com/cell-reports-physical-science/fulltext/S2666-3864%2824%2900386-2.
10. Temperature-adaptive dual-modal photonic textiles for thermal management / Kaixuan Zhu et al // Science Advances. – 2024. – Vol. 10, Issue 41. https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adr2062.
11. High-performance transparent polysulfone nanocomposites enhanced with masterbatch-based aramid nanofibers for improved toughness and flame retardancy / Seul-A Park et al // Advanced Composites and Hybrid Materials. – 2025. – № 307, Vol. 8. https://link.springer.com/article/10.1007/s42114-025-01392-0

References

1. Hoffmann F. Thermal Conductivity Measurement Techniques / F. Hoffmann // Springer. – 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40652-5. (In English).
2. Chen L. Protective Clothing Performance Evaluation / L. Chen, X. Wang, Z. Li // Journal of Safety Science. – 2020. – T. 130. – R. 104-112. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104888. (In English).
3. ASTM International. ASTM F1939-15: Radiant Heat Resistance of Clothing. – 2015. – https://www.astm.org/f1939-15.html. (In English).
4. Multilayer Protective Fabrics Thermal Behavior / M. Gholamreza et al // Fibers and Polymers. – 2021. – T. 22, № 4. – R. 888-897. https://doi.org/10.1007/s12221-021-0021-7. (In English).
5. ISO. ISO 13506: Protective Clothing against Heat and Flame – Thermal Manikin Test Method. – 2022. https://www.iso.org/standard/79962.html. (In English).
6. Қabdol A.M. Zhoғary temperatura zhaғdaiynda zhұmys isteitin arnaiy kiimderdің materialdaryn termografiyalyқ baғalau / A.M. Қabdol, T.T. Baimenov // Қazaқstan Inzhenerlik Zhurnaly. – 2022. – № 2(58). – B. 27-34. https://kzengineering.kz/2022/02/16/jqq-thermal-paper. (In Kazakh).
7. Functional coatings for textiles: advancements in flame resistance, antimicrobial defense, and self-cleaning performance / J. Ghosh et al // Published by the Royal Society of Chemistry. – 2025. – № 15. – R. 10984-11022. https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2025/ra/d5ra01429h. (In English).
8. Selective Emission Fabric for Indoor and Outdoor Passive Radiative Cooling in Personal Thermal Management / Haijiao Yu et al // Nano-Micro Lett. – 2025. – № 17. – R. 192. https://link.springer.com/article/10.1007/s40820-025-01713-4. (In English).
9. Nanotechnology-empowered radiative cooling and warming textiles / K.M. Faridul Hasan et al // Cell Reports Physical. – 2024. – Science 5. – R. 102108. https://www.cell.com/cell-reports-physical-science/fulltext/S2666-3864%2824%2900386-2. (In English).
10. Temperature-adaptive dual-modal photonic textiles for thermal management / Kaixuan Zhu et al // Science Advances. – 2024. – Vol. 10, Issue 41. https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adr2062. (In English).
11. High-performance transparent polysulfone nanocomposites enhanced with masterbatch-based aramid nanofibers for improved toughness and flame retardancy / Seul-A Park et al // Advanced Composites and Hybrid Materials. – 2025. – № 307, Vol. 8. https://link.springer.com/article/10.1007/s42114-025-01392-0. (In English).

N.N. Kusbergenova*, V. Mukamedenkyzy
[1]Al-Farabi Kazakh National University,
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi Avenue, 71
*e-mail: nargiz.kusbergenova@mail.ru

THERMOPHYSICAL ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT IN CONDITIONS OF HIGH TEMPERATURE AND THERMAL RADIATION

This article provides a comprehensive analysis of the thermophysical properties of personal protective equipment (PPE) used in industrial and emergency environments. Protecting the human body from thermal damage under high temperatures and radiant heat is one of the key objectives addressed. The study

evaluates three types of materials in terms of thermal conductivity, heat capacity, thermal resistance, and infrared reflectivity using both laboratory tests and numerical simulations in COMSOL Multiphysics. Additionally, a survey was conducted among workers operating in hazardous environments to assess the real-world effectiveness of PPE. The data collected enabled a scientifically grounded evaluation of the suitability of PPE materials for specific working conditions. The results serve as a basis for improving PPE design, developing next-generation protective clothing, and enhancing industrial safety standards.

This research is relevant to sectors such as chemical production, metallurgy, oil and gas, and firefighting. Future research should include a comprehensive assessment of ergonomic features, physiological impacts on users, and the integration potential of smart sensors. Such scientifically informed approaches will not only improve workplace safety but also contribute to the overall quality of life and health protection of workers facing thermal risks.

Key words: *personal protective equipment, thermal conductivity, thermal resistance, radiant reflection, extreme environment.*

Н.Н. Кусбергенова*, В. Мукамеденқызы*
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, Алматы, проспект аль-Фараби, 71
*e-mail: nargiz.kusbergenova@mail.ru

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В статье представлен комплексный анализ теплофизических свойств средств индивидуальной защиты (СИЗ), используемых в производственной и чрезвычайной среде. Одной из основных задач является защита человеческого организма от термического повреждения при воздействии высоких температур и теплового излучения. В исследовании оценивались теплопроводность, теплоёмкость, термостойкость и способность отражать инфракрасное излучение для трёх типов материалов на основе лабораторных испытаний и численного моделирования в COMSOL Multiphysics. Также был проведён опрос среди работников, занятых в опасных условиях, с целью изучения реальной эффективности СИЗ. Полученные данные позволяют научно обоснованно оценить пригодность защитных материалов к конкретным условиям эксплуатации. Результаты исследования могут быть использованы для усовершенствования конструкции СИЗ, разработки новых поколений защитной одежды и повышения уровня производственной безопасности.

Проведённый анализ актуален для отраслей, связанных с химическим производством, металлургией, нефтегазовой сферой и пожарной безопасностью. В дальнейших исследованиях рекомендуется комплексно оценить эргономические свойства СИЗ, их влияние на физиологическое состояние человека, а также возможности интеграции смарт-датчиков. Подобные подходы не только повысят безопасность труда, но и улучшат общее качество жизни работников, подвергающихся тепловым рискам на производстве.

Ключевые слова: *средства индивидуальной защиты, теплопроводность, термическая устойчивость, лучистое отражение, экстремальная среда.*

Авторлар туралы мәліметтер

Наргиз Нұрланқызы Кусбергенова – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, физика-техникалық факультеті, жылу физикасы және техникалық физика кафедрасының магистранты; e-mail: nargiz.kusbergenova@mail.ru.

Венера Мукамеденқызы – доцент, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, физика-техникалық факультеті, жылу физикасы және техникалық физика кафедрасы; e-mail: mukameden@inbox.ru.

Сведения об авторах

Наргиз Нұрланқызы Кусбергенова* – магистрант кафедры теплофизики и технической физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, физико-технический факультет; e-mail: nargiz.kusbergenova@mail.ru.

Венера Мукамеденқызы – доцент, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, физико-технический факультет, кафедра теплофизики и технической физики; e-mail: mukameden@inbox.ru.

Information about the authors

Nargiz Nurlankyzy Kusbergenova* – Master's student of the departament of Thermophysics and Technical Physics, al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Physics and Technology; e-mail: nargiz.kusbergenova@mail.ru.

Venera Mukamedenkyzy – associate professor, al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Physics and Technology, Departament of Thermophysics and Technical Physics; e-mail: mukameden@inbox.ru.

Редакцияға енуі 11.07.2025
Өңдеуден кейін түсуі 11.08.2025
Жариялауға қабылданды 20.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-57

BY 4.0
Check for updates

IRSTI: 44.31.35

L.G. Sulyubayeva[1], A. Maulet[2,3], B.A. Alibekova[1*], A.E. Alibekov[1]
[1]Research Center Surface Engineering and Tribology, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk 070002, Kazakhstan
[2]PlasmaScience LLP,
Ust-Kamenogorsk 070018, Kazakhstan
[3]Research School of Physical and Chemical Sciences,
071412, Kazakhstan, Semey, Shakarim University,
*e-mail: balymalibekova304@gmail.com

STUDY OF THE STRUCTURAL-PHASE STATE AND MECHANICAL-TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL STEELS AFTER PLASMA ELECTROLYTIC CARBURIZING

Abstract: *The paper presents a study of the influence of plasma electrolytic carburizing (PEC) regimes on the structural, phase, microhardness, and tribological characteristics of structural steels. Plasma electrolytic carburizing was carried out in an aqueous solution containing 10% soda ash (Na_2CO_3) and 20% urea ($CO(NH_2)_2$), at a temperature of about 950°C and a voltage of 300V. Two cooling regimes were implemented after PEC for steel 20: natural cooling in the electrolyte and active nozzle cooling with electrolyte supply to the treatment zone, and for 30CrMnSiA steel only natural cooling in the electrolyte. The morphology of the structure and phase composition were studied using X-ray diffraction analysis, scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy, and optical microscopy. The results showed that the microstructure of steels after PEC morphologically has a zonal structure with a main martensitic phase with Fe_3C and Fe_7C_3 carbide inclusions. The microhardness profile was determined from the cross-section of the modified layer using a FISCHERSCOPE HM2000 device. Tribological tests were performed using the ball on disc method on a TRB[3] machine under dry friction conditions at a normal load of 10 N and a sliding speed of 0.05 m/s. It was found that active cooling promotes the formation of a harder martensitic structure with maximum microhardness values of up to 430 HV for steel 20 and up to 720 HV for 30CrMnSiA steel, while their initial microhardness values were 170 HV and ~250 HV, respectively. It was also found that the coefficient of friction for these steels decreases by an average of 25–30% compared to the initial samples. The results confirm the effectiveness of PEC in forming hardened layers with increased microhardness and improved tribological parameters and demonstrate the potential of the method for use in the production of parts operating under high mechanical and frictional loads.*

Key words: *plasma electrolytic carburizing, chemical-thermal treatment, X-ray structural analysis, zonal structure, structural steel, carbides, microhardness, friction coefficient.*

Introduction

In the context of modern technological developments and increasing demands on the operational characteristics of machines and mechanisms, particular attention is paid to improving the properties of parts made from structural steels [1-2]. This is especially relevant for carbon and low-carbon steels, which are widely used in mechanical engineering due to their good mechanical properties, machinability, and availability. However, in their initial state, such steels do not always have sufficient hardness and wear resistance, which limits their service life when operating under conditions of intense friction and loads. Along with well-known technologies, one of the promising

areas for improving the functional properties of steels is electrolytic plasma treatment (EPT), which is based on the action of a plasma-electrolyte environment on the metal surface. This technology is effective for various structural and non-ferrous materials, including carbon structural and stainless steels [3-5]. One of the key objectives of EPT is to saturate the surface layer of the product with light elements, such as carbon, nitrogen, boron, etc., depending on the regime and composition of the electrolyte. As a result of such treatment, the desired properties of the material are achieved: increased strength during carburizing, increased hardness and corrosion resistance during boriding, and improved wear resistance during nitriding [6-9].

This work focuses on plasma electrolytic carburizing as an effective method for hardening carbon and low-carbon structural steels. Plasma electrolytic carburizing has a number of technological advantages, including increased surface modification speed and relatively low process implementation costs [10]. This method was chosen because of its ability to significantly increase the wear resistance and durability of parts by saturating the surface layer with carbon at elevated temperatures (around 950 °C), followed by thermal hardening. This approach allows the formation of a hard and wear-resistant outer zone while maintaining a ductile and strong core, which is especially important for structural elements operating under cyclic loads and friction [11-13].

In traditional carburizing practices, medium-carbon steels were typically used as the base material. This is because they contain more carbon than low-carbon grades, which promotes more efficient carbon saturation of the surface layer and the formation of a strong, wear-resistant zone [14]. The high carbon content allows for significant hardness to be achieved after heat treatment, which is why such steels were considered the most suitable for this type of hardening.

Over the past decade, a significant amount of research has been conducted aimed at improving carburizing processes, including the use of electrolytic plasma technology. Thus, in [15], the influence of the electrolyte composition and temperature parameters of anodic plasma electrolytic carburizing on the formation of the structure, microhardness, phase composition, and corrosion resistance of the surface layer of steel 20 was studied. The results showed that the use of sucrose in the electrolyte composition provides deeper carbon saturation and the formation of a diffusion layer up to 56 μm thick, while glycerol electrolyte promotes more intensive anodic dissolution. The data obtained confirm the high sensitivity of the results of plasma electrolytic carburizing (PEC) to the composition of the electrolyte and the temperature parameters of the treatment. Nevertheless, questions remain open regarding the optimization of treatment regimes and the clarification of the mechanisms of formation of the phase components of the modified layer. Of particular interest is the study of the influence of various electrolyte compositions on the thermochemical processes occurring in the near-surface zone of steel during high-temperature PEC. Work [16] examines the features of the formation of the structure, phase composition, microhardness, and wear resistance of 20Kh steel during anodic plasma electrolytic carburizing in electrolytes of various compositions containing ammonium chloride in combination with sucrose or glycerin.

This work examines the influence of electrolyte composition and cooling regimes of electrolytic plasma carburizing on the peculiarities of the formation of the structure, microhardness, and tribological characteristics of steel 20 and 30CrMnSiA steel. The aim of the work is to study the structural-phase state and tribological properties of structural steels after plasma electrolytic carburizing under different cooling regimes.

Materials and methods of research

In this work, we consider the possibility of applying these technologies to less traditional materials – low-carbon steel 20 and alloy 30CrMnSiA steel. Their chemical composition: steel 20 (C – 0.2%, Si – 0.17-0.35%, Mn – 0.35-0.6%, Cr, Cu, Ni – up to 0.3%, P – up to 0.035%, S – up to 0.04%, Fe – 98%) according to GOST 1050-88; 30CrMnSiA (C – 0.28-0.34%, Si – 0.90-1.20%, Cu – 0.30%, Mn – 0.80-1.10%, Ni – 0.30%, P – 0.025%, Cr – 0.80-1.10%, S – 0.025%) according to GOST 4543-2016.

Samples measuring 20x20x20 mm were processed with sandpaper with a grain size of P120 on a Metapol-2000P surface grinding machine. PEC was carried out on an electrolytic plasma treatment unit at the Surface Engineering and Tribology Research Center of the Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University (Fig. 1a-d). The technological parameters of the PEC with different cooling regimes are given in Table 1.

According to the schematic representation in Fig. 1b, the electrolyte-plasma unit intended for carrying out chemical-thermal treatment of metal samples includes a DC power source (1), a sealed

working chamber (2), a bath with an electrolytic cell (5) with a plasmatron (3), a pump and circulation system (4), as well as a holder for fixing the workpiece (6), a connected pipeline for feeding the electrolyte (7). The power source serves to form the rectified voltage required for generating microplasma discharges in the electrolyte. The working bath is equipped with a built-in anode grid made of stainless steel, and the workpiece itself is connected as a cathode. When voltage is applied, local boiling of the electrolyte occurs and a vapor-gas shell is formed, within which intense microplasma discharges develop, providing chemical-thermal and micromechanical action on the surface of the sample. To maintain stable processing parameters, a pump-controlled electrolyte circulation and cooling system is provided, as well as pipelines regulating the supply and consumption of the working solution. In total, such a configuration of the installation ensures targeted modification of the surface layer of the metal due to the effect of high-energy discharges in the active processing zone.

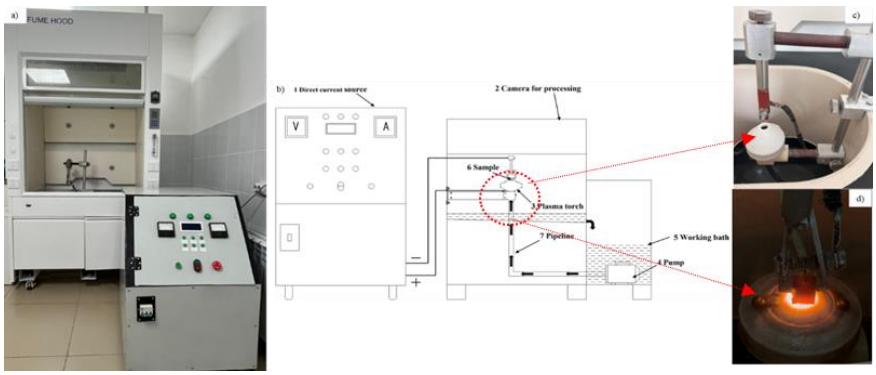


Figure 1 – Electrolytic-plasma treatment unit and diagram
a) General view of the electrolytic-plasma treatment unit; b) Electrical and hydraulic diagram of the unit;
c) Working area with plasma torch and electrolyte; d) Plasma formation process during sample surface treatment

Table 1 – Technological parameters of the PEC with different cooling regimes

Samples	Processing regime	Electrolyte composition	Temperature, °C	Voltage, V	Time, minutes
steel 20 (1)	PEC + natural cooling in electrolyte	10% soda ash (Na_2CO_3) and 20% urea ($CO(NH_2)_2$)	950	300	5
steel 20 (2)	PEC + active nozzle cooling with electrolyte supply				
30 CrMnSiA steel	PEC + natural cooling in electrolyte				

During the study, steel 20 was subjected to carburization by electrolytic-plasma treatment at a temperature of about 950°C. The treatment was carried out in an aqueous solution containing 10% soda ash (Na_2CO_3) and 20% urea ($CO(NH_2)_2$). The process was carried out at a voltage of 300 V and an electrolyte temperature reaching 950°C. The treatment time was 5 minutes. Carbon structural steel 20 and 30CrMnSiA steel were used as study materials. Steel 20 was treated in two regimes: without cooling and with active cooling. In the first case, after heating, the part remained in the electrolyte and cooled naturally. This ensured a slow decrease in temperature, as a result of which a structure with a partial hardening effect and increased ductility was formed in the surface layer. In the second case, nozzle cooling or forced electrolyte feed to the processing zone was used, which ensured rapid cooling of the surface and contributed to the formation of a harder structure such as martensite. Thus, combining carburization with EPT in cooling regimes made it possible to obtain a hardened surface layer with different degrees of hardness and structural characteristics. In all experiments, steel 20 and 30KhGSA steel samples were processed in the same regimes, which ensured a correct comparison of the results.

X-ray diffraction analysis of the phase composition of the modified surface layers formed as a result of plasma electrolytic carburizing was carried out on an X'Pert PRO PANalytical setup (PANalytical BV, the Netherlands) equipped with a copper anode tube (Cu-Kα radiation, λ = 1.541 Å). The measurements were carried out at a voltage of 40 kV and a current of 30 mA in the 2θ angle range from 30° to 100°, with a step of 0.02° and an exposure time of 0.5 s per step. The diffraction

patterns were processed and the obtained data were interpreted in the HighScore Plus software environment. Monitoring of microstructural changes caused by thermochemical treatment was carried out using an SEM3200 scanning electron microscope (China). Before visualization, the surface structure of the samples was activated by chemical etching in a 4% solution of nitric acid (HNO_3) in ethanol. Flat sections were prepared on a Metapol-2000P machine using diamond pastes of different dispersion. The morphological features of the formed layers were studied using an Olympus BX53M optical microscope. Microhardness control over the cross-section of the cemented layer was carried out on a FISCHERSCOPE HM2000 installation (Helmut Fischer GmbH, Germany), certified in accordance with the DIN EN ISO 14577-1 standard. The tests were carried out under loads of up to 2000 mN in automatic regime with step profiling by depth. Evaluation of the tribological characteristics was carried out by the ball on disk method on a TRB^3 universal installation (Anton Paar, Austria) in accordance with the ASTM G133 standard. The samples were tested under dry friction conditions at an ambient temperature of (25±1°C) and a sliding speed of 0.05 m/s. Contact was made with a 100Cr6 steel ball under a normal load of 10 N. The friction coefficient was measured continuously during the test over a period of 60 m, with automatic recording of the parameters over time.

Results and discussion

As a result of electrolytic plasma treatment of steel 20 and 30CrMnSiA steel, various microstructures were obtained, depending on the cooling regimes. The steel 20 sample, which underwent slow cooling, was characterized

by the formation of a ferrite-pearlite structure with cementite inclusions, which indicates a partial hardening effect. When using directed nozzle cooling, the formation of a martensitic structure was observed, and for 30CrMnSiA steel, the formation of a predominantly martensitic structure was observed, which is explained by the higher content of alloying elements.

The microstructure shown in Figure 2 indicates a significant influence of cooling conditions on the results of electrolytic plasma treatment of steel 20. The SEM image in Figure 2a shows the structure of steel 20 with subsequent cooling, while Figure 2b shows the structure of the sample without cooling. In the case of steel 20(1) with cooling (Fig. 2a), a pronounced modified surface layer with a fine-grained and dense structure is observed. The contrast of the image indicates the presence of a fragmented substructure characteristic of hardening zones with a high cooling rate. Such morphological features may be associated with the formation of carbon compounds (carbides) and zones with increased hardness. A gradient structure is observed: from the saturated zone to the transition zone and further to the initial ferrite-pearlite zone. In the steel 20(2) sample without cooling, Fig. 2b, the structure is more sparse.

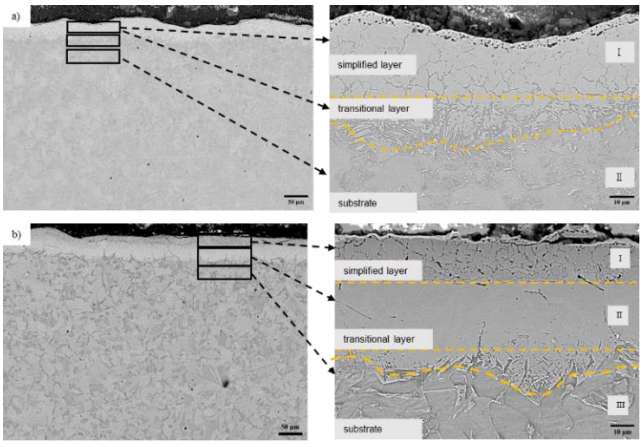


Figure 2 – Microstructure of steel 20 after PEC

The modified zone is less pronounced, the morphology is larger, and the dispersion is lower. This indicates partial decomposition of the solid solution and phase stabilization under slow cooling conditions, during which reverse diffusion processes occur. The boundary between the treated and untreated layers is less contrasting, which also indicates weaker thermal fixation of structural changes.

According to Figure 3, the microstructure of 30 CrMnSiA steel after electrolytic plasma treatment is characterized by good density and a pronounced fine-grained structure. Ordered

substructural elements are observed, indicating the formation of carbides due to alloying elements (Cr, Mn, Si). This indicates the increased thermochemical activity of 30CrMnSiA steel and its high hardenability compared to carbon steel 20.

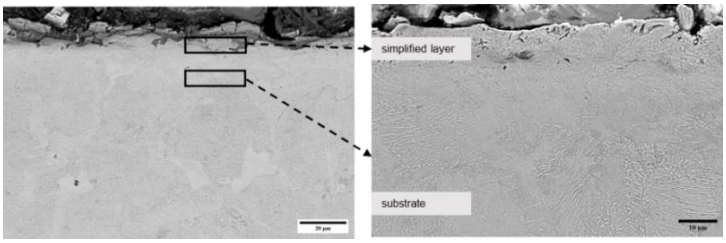


Figure 3 – Microstructure of 30CrMnSiA steel after PEC

Figure 4 shows the diffraction patterns of steel 20 and 30CrMnSiA steel in the initial state and after plasma electrolytic carburizing. In the initial state, only α-Fe peaks corresponding to the main ferrite-pearlite phase are recorded. After PEC, additional peaks identified as Fe_3C and Fe_7C_3 appear in steel 20 samples (both with and without cooling), indicating intense carbon saturation and the formation of carbide phases, as well as an iron oxide peak indicating surface oxidation as a result of decomposition of the active components of the electrolyte. In 30CrMnSiA steel, predominantly Fe_7C_3 and Fe_3C peaks are observed, which is explained by the influence of alloying elements (Cr, Mn), which contribute to the stabilization of carbides. This confirms that even under identical PEC conditions, the chemical composition of the steels has a decisive influence on the phase composition.

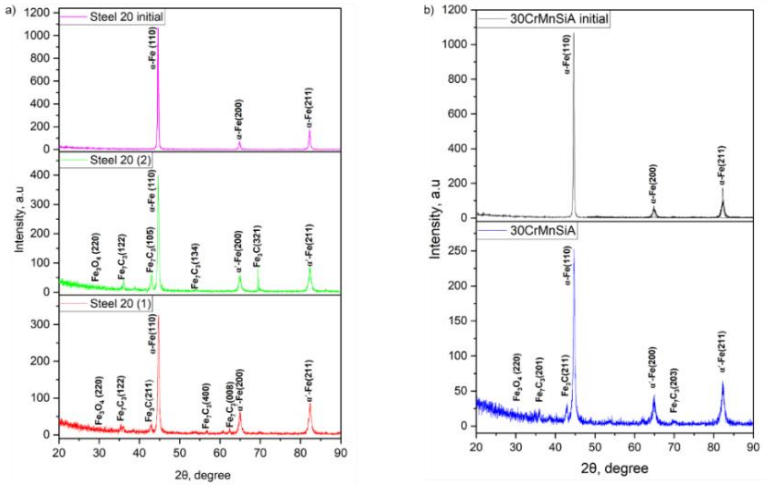


Figure 4 – X-ray diffraction (XRD) spectra of the surface layers of steels before and after plasma electrolytic carburizing (PEC)
a) steel 20: before PEC, after PEC with cooling and without cooling;
b) 30CrMnSiA steel: before and after PEC

Figure 5 shows the spectra and distribution of elements over the cross-section of steel 20 after plasma electrolytic carburizing (PEC). The treatment was carried out in a solution of 10% Na_2CO_3 + 20% $CO(NH_2)_2$ at 300 V, 950°C, 5 minutes. In the sample with cooling in Fig. 5a, an increased oxygen content is observed in the near-surface zone (spectrum 1), which indicates the formation of an oxide film. The inner zones (spectra 2 and 3) are characterized by an increase in carbon concentration, reaching maxima in these areas, and then a decrease towards the substrate (spectrum 4). Iron (Fe) remains the predominant element in the substrate material. Compared to the steel 20 (1) sample, the steel 20 (2) sample without cooling demonstrates a less contrasting distribution of carbon and oxygen, which may be due to a more stable diffusion during slow cooling. The surface is also covered with an oxide layer, but its thickness may be lower, which explains the decrease in oxygen concentration. In general, the sample with cooling forms a more pronounced carbonized zone, while the sample without cooling shows a tendency towards greater oxygen saturation with a smaller amount of carbon.

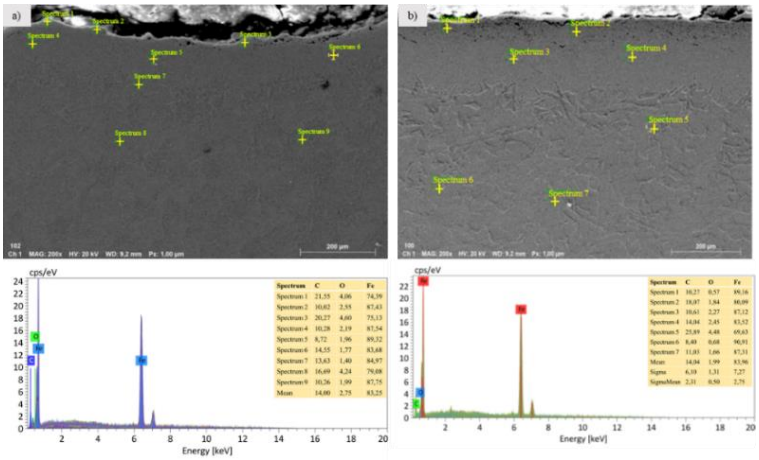


Figure 5 – Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) of steel 20 after PEC

Figure 6 shows the spectral analysis of a sample of 30CrMnSiA steel processed using the same PEC regime. The analysis shows a high carbon content in the near-surface zone, which indicates active saturation and formation of a hardened layer. Unlike carbon steel 20, 30CrMnSiA steel demonstrates better carbon saturation indicators in individual spectra, which is due to the presence of alloying elements that stabilize carbide phases (possibly Cr). The surface layer also contains an increased amount of oxygen, forming a strong oxide shell.

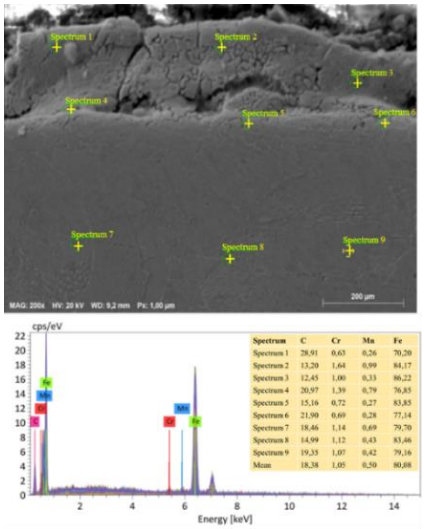


Figure 6 – Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) of 30CrMnSiA steel after PEC

The microhardness distribution shown in Figure 7 indicates differences in the nature of the hardened layers for steel 20 and 30CrMnSiA steel after plasma electrolytic carburizing. Steel 20 was processed under the same parameters, but with different cooling conditions. Comparison of microhardness shows that steel 20 (1) achieves higher hardness values in the near-surface zone (up to ~430 HV) compared to steel 20 (2) (maximum ~250-270 HV). In addition, the former has a sharp increase in hardness from the surface and stabilization at a depth of 60–180 μm, while the latter has more uniformly distributed values, but at a lower level. The differences can be explained by the cooling intensity, which determines the structural transformations after the PEC. Intensive cooling helps to fix the hardened structure by suppressing diffusion processes, which prevents the decomposition of the supersaturated solid solution and limits the growth of ferrite-pearlite areas. This, in turn, ensures the formation of a structure with increased hardness. On the contrary, with slow cooling, partial restoration of the original structure is possible due to the occurrence of diffusion transformations, which is accompanied by a decrease in the hardness of the material. For comparison, data on 30CrMnSiA steel processed by a similar method are also provided. This steel demonstrated the highest hardness in the near-surface zone (up to 720 HV) with a stable hardening profile to a depth of up to 100 μm, which is due to its alloy composition and a greater tendency to hardening phase formations during PEC.

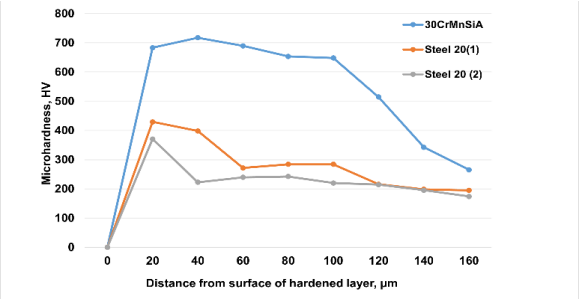


Figure 7 – Distribution of microhardness by depth from the surface modified after PEC

To assess the tribological properties of the surface layers of steel 20 and 30CrMnSiA steel (Fig. 8a-b), modified by cathodic plasma electrolytic carburizing (PEC), tests were carried out under dry friction conditions using the «ball on disk» scheme. The test results are presented as dependences of the friction coefficient on the path, where for steel 20 in Figure 8a, for 30CrMnSiA steel in Figure 8b, the friction coefficient after PEC decreased by 25-30% compared to the initial state, which indicates a significant improvement in the tribological characteristics of the treated surface. High hardness is traditionally considered as the main criterion for the wear resistance of steels. However, the structure of the surface layer, providing maximum wear resistance, does not always coincide with the structure with the highest hardness. Since wear resistance is one of the structure-sensitive characteristics, its improvement requires a comprehensive approach to managing the structure of the surface layer.

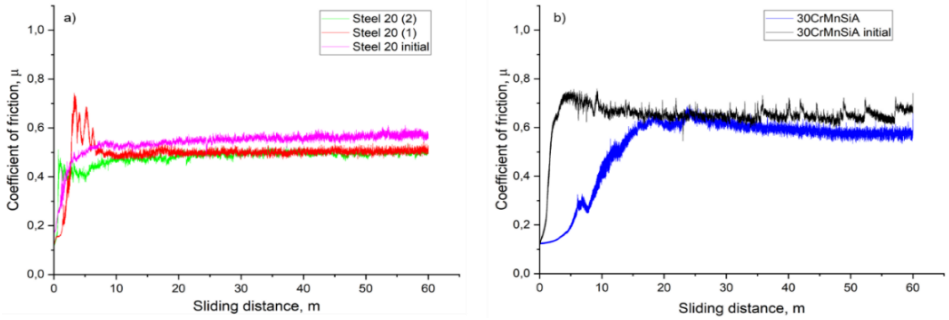


Figure 8 – Friction coefficient of steel 20 and 30CrMnSiA steel before and after PEC

During friction in the surface deformation zone, structural transformations and changes in the material properties occur, resulting in the formation of the so-called friction structure, which directly affects the nature and intensity of wear. In this regard, striving exclusively for maximum hardness is not always advisable when developing wear-resistant steels (Table 2).

Table 2 – Results of the study of steels before and after PEC with different cooling regimes

Samples	Electrolyte composition	Phase	Microhardness	Friction coefficient
steel 20 (initial)	10% (Na_2CO_3) and 20% ($CO(NH_2)_2$) Regime: 950°C, 300V, 5 min	Ferrite-pearlite	170–190 HV	—
steel 20 (1)		Martensite + carbides Fe_3C, Fe_7C_3	430–190 HV	Down 25%
steel 20 (2)		Ferrite-pearlite + carbides	370–170 HV	Down 25%
30CrMnSiA steel (initial)		Ferrite-pearlite	250–270 HV	—
30CrMnSiA steel		Martensite + Fe_3C, Fe_7C_3	720–260 HV	Down 25%

Conclusion

A comparative study was conducted on the influence of plasma electrolytic carburizing (PEC) parameters on the surface characteristics of structural steel 20 and 30CrMnSiA steel. It was found that PEC promotes the formation of a hardened layer with increased hardness (up to 430 HV for steel 20 and up to 720 HV for 30CrMnSiA steel), which is due to the formation of a martensitic structure and carbide phases.

X-ray phase analysis showed that in their initial state, both steels contain mainly the ferrite-pearlite phase α-Fe. After PEC, the formation of carbide compounds (Fe_3C, Fe_7C_3) is observed, with the chemical composition of the steel having a significant effect on their quantitative and qualitative ratio.

It has been established that the cooling regime plays a key role in the formation of the structure and properties of the hardened layer. Rapid nozzle cooling contributes to the fixation of the martensitic structure, while natural cooling forms a more plastic ferrite-pearlite zone with lower hardness.

Analysis of the morphology and elemental composition showed the presence of carbide and oxide phases, as well as the distribution of carbon and oxygen in the surface layer. In 30CrMnSiA steel, more effective carbon saturation was observed, which is associated with the presence of alloying elements.

Tribological tests showed a 25-30% reduction in the friction coefficient after PEC compared to the initial state, which, along with an increase in microhardness, indicates an improvement in the performance characteristics of the modified surfaces.

Thus, plasma electrolytic carburizing is an effective method for the comprehensive strengthening of structural steels, improving their mechanical and tribological properties for use under high loads and intense wear.

References

1. Study of the current state and technological capabilities of the method of electrolytic-plasma chemical-thermal treatment of steels / L.G. Sulyubaeva et al // Bulletin of the NNC RK. – 2023. – Vol. 3. – P. 182-191. https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-3-182-191.
2. Pogrebnyak A.D. Electrolytic-plasma technology for coating and processing metals and alloys / A.D. Pogrebnyak, A.Sh. Kaverina, M.K. Kylyshkanov // Surface physical chemistry and protection of materials. – 2014. – Vol. 50, № 1. – P. 72-88.
3. Modification of the surface of 30KhGSA steel using electrolyte-plasma thermal cyclic hardening / B.K. Rakhadilov et al // NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES: POWDER METALLURGY, COMPOSITE MATERIALS, PROTECTIVE COATINGS, WELDING. – 2022. – P. 610-616.
4. Kulikov I., Vaschenko S., Kamenev A. Electrolyte-plasma treatment of materials. – Litres, 2022.
5. Analysis of thermal phenomena during jet focused electrolytic-plasma treatment / A.I. Popov et al // Global Energy. – 2016. – № 4(254). – P. 141-150.
6. Anodic electrolytic-plasma saturation of low-carbon steel with carbon, nitrogen, boron and sulfur / S.A. Kusmanov et al // Letters on materials. – 2015. – Vol. 5, № 1. – P. 35-38.
7. Belkin P.N. Plasma electrolytic saturation of steels with nitrogen and carbon / P.N. Belkin, A. Yerokhin, S.A. Kusmanov //Surface and Coatings Technology. – 2016. – Vol. 307. – P. 1194-1218.
8. Surface modification of chromium–nickel steel by electrolytic plasma nitriding method / Z. Satbayeva et al // Crystals. – 2024. – Vol. 14(9). – P. 759. https://doi.org/10.3390/cryst14090759.
9. Increasing the wear resistance of high-speed steels by electrolytic-plasma nitriding / M. Skakov et al // Bulletin of the Kazakh National University. Physical series. – 2014. – № 1. – P. 44-52.
10. Effect of electrolyte composition on the surface properties of titanium alloy VT6 during anodic electrolytic-plasma carburizing / M.R. Komissarova et al // Bulletin of higher educational institutions. Series «Chemistry and chemical technology». – 2016. – Vol. 59, № 11. – P. 100-105.
11. Modification of steel surface by cathodic cementation and anodic polishing under electrolysis plasma conditions / S.A. Kusmanov et al // Electronic processing of materials. – 2020. – Vol. 56(2). – P. 1-8.
12. Kulka M. Laser Surface Modification of Carburized and Borocarburized 15CrNi6 Steel. Mater / M. Kulka, A. Pertek // Charact. – 2007. – № 58. – P. 461-470.
13. Belkin P.N. Electrolyte-plasma cementation of metals and alloys / P.N. Belkin, S.A. Kusmanov // Kostroma State University. – 2020. – № 56(5). – P. 40-74. https://doi.org/ 10.5281/zenodo.
14. Materials Science / F.K. Malygin et al. – 2015. – P. 110-114.
15. Burov S.V. Effect of temperature of anodic electrolyte-plasma carburizing on the complex of properties of steel 20 / S.V. Burov, L.V. Tabachnikova // Best research article 2020. – 2020. – P. 275-287.
16. Investigation on the effect of technological parameters of electrolyte-plasma cementation method on phase structure and mechanical properties of structural steel 20X / B. Rakhadilov et al // AIMS Materials Science. – 2023. – Vol. 10(5). – P. 934-947.

Acknowledgment

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. BR24992879).

Л.Г. Сулюбаева[1], А. Маулет[2,3], Б.Ә. Әлібекова[1]*, А.Е. Әлібеков[1]
[1]«Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығы,
Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,
070002, Қазақстан, Өскемен қ.
[2]«PlasmaScience» ЖШС,
070018, Қазақстан, Өскемен қ.
[3]Физикалық және химиялық ғылымдар мектебі, Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан, Семей қ.
*e-mail: balymalibekova304@gmail.com

ЭЛЕКТРОЛИТТІ-ПЛАЗМАЛЫҚ ЦЕМЕНТАЦИЯДАН КЕЙІН КОНСТРУКЦИЯЛЫҚ БОЛАТТАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМ-ФАЗАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫ МЕН МЕХАНОТРИБОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Бұл жұмыста электролитті-плазмалық цементация (ЭПЦ) режимдерінің конструкциялық болаттардың құрылым-фазалық күйіне, микроқаттылығына және трибологиялық сипаттамаларына әсері зерттелді. ЭПЦ процесі 10 % кальциленген сода (Na_2CO_3) және 20 % карбамид ($CO(NH_2)_2$) ерітіндісінде, шамамен 950 °C температурада және 300 В кернеуде жүргізілді. Болат 20 үшін екі түрлі салқындату режимі қолданылды: электролиттегі табиғи салқындату және өңдеу аймағына электролит ағынын бағыттау арқылы жүзеге асырылатын белсенді соплалық салқындату. Ал 30ХГСА болаты үшін тек табиғи салқындату қолданылды. Құрылым морфологиясы мен фазалық құрамы рентгендік дифракциялық талдау, сканерлейтін электрондық микроскопия және оптикалық микроскопия арқылы зерттелді. Зерттеу нәтижелері ЭПЦ-дан кейінгі болаттардың микроқұрылымы айқын зоналық сипатқа ие екенін және негізінен мартенсит фазасымен бірге Fe_3C және Fe_7C_3 карбидті қосындыларынан тұратынын көрсетті. Модификацияланған қабаттың қимасы бойынша микроқаттылық FISCHERSCOPE HM2000 құрылғысы арқылы өлшенді. Трибологиялық сынақтар TRB[3] құрылғысында «шар-диск» сызбасы бойынша, 10 Н қалыпты жүктемеде және 0,05 м/с сырғанау жылдамдығында, құрғақ үйкеліс жағдайында жүргізілді. Белсенді салқындату болат 20 үшін максималды микроқаттылықтың 430 HV дейін, ал болат 30ХГСА үшін 720 HV дейін артуына ықпал ететіні анықталды (бастапқы мәндері тиісінше 170 HV және шамамен 250 HV). Сондай-ақ, ЭПЦ-дан кейін үйкеліс коэффициентінің орта есеппен 25-30 % төмендегені байқалды. Алынған нәтижелер ЭПЦ-ның микроқаттылығы жоғары және трибологиялық қасиеттері жақсарған беріктендірілген қабаттарды қалыптастырудағы тиімділігін дәлелдейді және бұл әдістің ауыр механикалық және үйкеліс жүктемелері жағдайында жұмыс істейтін бөлшектерді өндіруде қолдануға әлеуеті бар екенін көрсетеді..

Түйін сөздер: *электролитті-плазмалық цементация, химиялық-термиялық өңдеу, рентгенқұрылымдық талдау, зоналық құрылым, конструкциялық болат, карбидтер, микроқаттылық, үйкеліс коэффициенті.*

Л.Г. Сулюбаева [1], А. Маулет[2,3], Б.Ә. Әлібекова[1]*, А.Е. Әлібеков[1]
[1]Научно-исследовательский центр «Инженерия поверхностей и трибология»,
Восточно Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова,
070002, Казахстан, г. Усть-Каменогорск
[2]ТОО «PlasmaScience»,
070018, Казахстан, г. Усть-Каменогорск
[3]Школа физических и химических наук,
Шәкәрім университет,
071412, Казахстан, г. Семей,
*e-mail: balymalibekova304@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ И МЕХАНО ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

В работе представлено исследование влияния режимов электролитно-плазменной цементации (ЭПЦ) на структурные, фазовые, микротвердость и трибологические характеристики конструкционных сталей. Электролитно-плазменная цементация проводилась в водном растворе, содержащем 10 % кальцинированной соды (Na_2CO_3) и 20 % карбамида ($CO(NH_2)_2$), при температуре около 950 °C и напряжении 300 В. Были реализованы два режима охлаждения после ЭПЦ для стали 20:

естественное охлаждение в электролите и активное сопловое охлаждение с подачей электролита в зону обработки, а для стали 30ХГСА только естественное охлаждение в электролите. Исследование морфологии структуры и фазового состава проводилось с использованием рентгенодифракционного анализа, сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, оптической микроскопии. По результатам которых установлено, что микроструктура сталей после ЭПЦ морфологически имеет зональную структуру с основной мартенситной фазой с карбидными Fe_3C, Fe_7C_3 включениями. Профиль микротвёрдости определяли по сечению модифицированного слоя с использованием прибора FISCHERSCOPE HM2000. Трибологические испытания выполнялись по схеме «шар-диск» на установке TRB^3 в условиях сухого трения при нормальной нагрузке 10 Н и скорости скольжения 0,05 м/с. Установлено, что активное охлаждение способствует формированию более твёрдой мартенситной структуры с максимальными значениями микротвёрдости до 430 HV у стали 20 и до 720 HV у стали 30ХГСА, а их исходные микротвёрдости 170 HV и ~250 HV соответственно. Также было установлено, что коэффициент трения у этих сталей снижается в среднем на 2530 % по сравнению с исходными образцами. Полученные результаты подтверждают эффективность ЭПЦ в формировании упрочнённых слоёв с повышенной микротвёрдостью с улучшенным трибологическим параметром и демонстрируют потенциал метода для применения в производстве деталей, работающих в условиях высоких механических и фрикционных нагрузок.

Ключевые слова: *электролитно-плазменная цементация, химико-термическая обработка, рентгеноструктурный анализ, зональная структура, конструкционная сталь, карбиды, микротвёрдость, коэффициент трения.*

Information about authors

Laila Gylimmeddenovna Sulyubayeva – PhD, associate professor, Senior Researcher of Scientific Research Center «Surface Engineering and Tribology» at S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: lsulyubayeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1924-1459.

Almasbek Maulit – PhD student of the National Joint-Stock Company «Shakarim University»; Researcher at «PlasmaScience» LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: maulit.almas@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0519-3222.

Balym Alibekkyzy Alibekova* – engineer of Scientific Research Center «Surface Engineering and Tribology» at Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: bailymalibekova304@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-7644-4527.

Aibek Erkebulanuly Alibekov – engineer of Scientific Research Center «Surface Engineering and Tribology» at Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: aibek.alibekov.03@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0008-4271-0170.

Авторлар туралы мәліметтер

Лайла Гылыммедденовна Сулюбаева – PhD, қауымдастырылған профессор, С.Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының аға ғылыми қызметкері, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: lsulyubayeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1924-1459.

Алмасбек Мәуліт – Шәкәрім атындағы университеті докторанты; «PlasmaScience» ЖШС-нің ғылыми қызметкері, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: maulit.almas@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0519-3222.

Балым Әлібекқызы Әлібекова* – инженер, Сәрсен Аманжолов атындығы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: bailymalibekova304@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0009-0001-7644-4527.

Айбек Еркебұланұлы Әлібеков – Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының инженері, Өскемен қаласы, Қазақстан; e-mail: aibek.alibekov.03@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0008-4271-0170.

Сведения об авторах

Лайла Гылыммедденовна Сулюбаева – PhD, ассоциированный профессор, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра «Инженерия поверхностей и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: lsulyubayeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1924-1459.

Алмасбек Мәуліт – докторант Шәкәрім университета? научный сотрудник ТОО «PlasmaScience», г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: maulit.almas@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0519-3222.

Балым Алибекқызы Алибекова* – инженер научно-исследовательского центра «Инженерия поверхностей и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, КазахстанҢ e-mail: bailymalibekova304@gmail.comNo ORCID: https://orcid.org/0009-0001-7644-4527.

Айбек Еркебуланулы Алибеков – инженер научно-исследовательского центра «Инженерия поверхностей и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, КазахстанҢ e-mail: aibek.alibekov.03@mail.ruNo ORCID: https://orcid.org/0009-0008-4271-0170.

Received 28.06.2025
Revised 28.08.2025
Accepted 02.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-58

BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 44.31.39; 81.09.03; 53.39.

А.Ж. Миниязов[1,2], М.Қ. Сқақов[1], Н.М. Мұхамедова[1,2*], О. Өкен[1], М.Е. Скопченко[1]
[1]ҚР ҰЯО РМК Атом энергиясы институтының филиалы,
071100, Қазақстан Республикасы, Курчатов қ., Бейбіт атом көшесі, 10.
[2]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20А
*e-mail: bakayeva@nnc.kz

ҰШҚЫН ПЛАЗМАЛЫҚ ПІСІРУ ӘДІСІМЕН $LANI_5$ НЕГІЗІНДЕГІ СУТЕГІ САҚТАУ МАТЕРИАЛЫН АЛУ

Аңдатпа: *Бұл мақалада ұшқын-плазмалық пісіру (ҰПП) әдісі арқылы $LaNi_5$ негізіндегі сутегі жинақтаушы қорытпаны алу технологиясы зерттелді. Алдын ала механикалық белсендіру және синтездеу процестері лантан (La) және никель (Ni) металл ұнтақтарының 20: 1 және 30: 1 массалық қатынастарында жүргізілді. Дайындалған ұнтақ қоспалары диаметрі 20 мм графиттік матрицаға салынып, алдын ала престеліп, вакуумдық ортада 1250°C температурада және тұрақты қысымда ISKRA қондырғысында 1250°C температурада және тұрақты қысымда пісіру.*

Синтезделген үлгілерге фазалық талдау жүргізу үшін рентгендік дифрактометрия әдісі қолданылды. Нәтижесінде $LaNi_5$ фазасының түзілуі байқалатыны анықталды. Негізгі фазадан басқа La_2O_3 оксиді де анықталды, бұл материалдың ішінара тотығуын көрсетеді. Қорытпа құрылымындағы фазалық өзгерістер мен кристаллдық ерекшеліктер анықталды. Сонымен қатар, материалдың морфологиясы мен микроструктурасын зерттеу үшін сканерлеуші электронды микроскоп қолданылып, алынған үлгілердің беткі құрылымы мен бөлшек өлшемдерінің таралуы сипатталды.Зерттеу нәтижелері $LaNi_5$ негізіндегі сутегі жинақтаушы материалды алу үшін ұшқын-плазмалық пісіру әдісінің тиімділігін көрсетті және синтез параметрлерінің материалдың фазалық құрамына және микроструктуралық сипаттамаларына әсерін айқындауға мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: *механосинтез, механикалық белсендіру, ұнтақ қоспасы, сутегі, лантан,никел, ұшқын-плазмалық пісіру.*

Кіріспе

Дүниежүзілік экономиканың, халық санының және урбанизацияның қарқынды өсуі энергияға деген сұраныстың артуына және қазба отындарының белсенді пайдаланылуына алып келді. Алайда, жаңартылмайтын энергия көздерін қолданудың жағымсыз экологиялық салдары барған сайын айқын көрініс табуда. Бұл жағдай экологиялық қауіпсіз энергетикалық жүйелерді әзірлеу мен зерттеуді жеделдетуге түрткі болуда [1, 2]. Осы тұрғыда сутегі энергетикасы қоршаған ортаға зиянсыздығы, қолжетімділігі және жану тиімділігі жоғары балама ретінде үлкен қызығушылық тудырып отыр [3-5]. Сутегі энергетикасын енгізу үш негізгі кезеңнен тұрады: өндіру, сақтау және тасымалдау. Аталған технологиялардың кеңінен қолданылуында сутегіні тиімді әрі қауіпсіз сақтау жүйелері шешуші рөл атқарады [6, 7].

Сутегіні сақтау бойынша қазіргі қолданыстағы технологияларға газ тәрізді күйде қысыммен сақтау, сұйылту және қатты фазада сақтау жатады. Бұл әдістердің әрқайсысы өзіндік пайдалану және энергетикалық сипаттамаларға ие болғанымен, белгілі бір

шектеулермен сипатталады [8, 9]. Осы контекстте қатты фазада сақтау жоғары энергия сыйымдылығы, қауіпсіздігі және әртүрлі пайдалану жағдайларына бейімделу мүмкіндігі арқасында ерекше назар аударатын бағыт болып табылады. Бұл қасиеттер оны сутегі энергетикасы саласындағы басым зерттеу бағытына айналдырады [10].

Сутегіні сақтауға арналған тиімді материалдар жоғары сыйымдылыққа, сіңіру және босату процестерінің оңтайлы кинетикасына, сондай-ақ ұзақ мерзімді циклдік тұрақтылыққа ие болуы тиіс. Осы талаптарға сәйкес келетін перспективті материалдардың бірі ретінде металлогидридті жүйелер қарастырылады. Бұл жүйелердің негізін металл гидридтерін түзе алатын қорытпалар мен интерметалдық қосылыстар құрайды. Аталған материалдар көрсетілген талаптарға сәйкес келіп, сутегіні сақтау жүйелерін әзірлеуде сенімді әрі тиімді шешім болып табылады [9, 11].

Металлогидридтердің әртүрлі топтарының ішінде AB_5 типті интерметалдық қосылыстар сутегіні сақтау сипаттамаларының жоғарылығы жағынан кеңінен танымал. Бұл топтың ең көп зерттелген өкілі – $LaNi_5$ қосылысы. Ол гидрид түзу процесінің қайтымдылығымен, қалыпты температурада жұмыс істей алуымен және орташа жұмыс қысымымен ерекшеленеді [12-14]. Алайда, оның салыстырмалы түрде төмен гравиметриялық тығыздығы (~1,38 масс.%) және материалдың деградацияға ұшырауы оны сутегілік жүйелерде қолдануда шектейтін негізгі факторлар болып табылады [15-17].

Аталған кемшіліктерді жою және материалдың жұмыс сипаттамаларын жақсарту мақсатында механикалық синтездеу (МС) әдістері кеңінен қолданылады. Бұл тәсілдер сутегіні сіңіру кинетикасын жақсартып, материалдың ұзақ мерзімді тұрақтылығын арттыра алады. Зерттеулер көрсеткендей, механикалық синтез (МС) $LaNi_5$ негізіндегі материалдардың сутегіні сақтау тиімділігін едәуір арттыра алады, ал ұнтақты ұнтақтау оңтайлы параметрлері алынған материалдың құрылымдық және физикалық қасиеттеріне елеулі әсер етеді [18-20].

Өнеркәсіпте ұнтақ материалдарды күйдірудің (пісірудің) әртүрлі технологиялары кеңінен қолданылады, олардың қатарына еркін күйдіру мен ыстық престеу әдістері жатады. Еркін күйдіру – бұл ұнтақ материалын муфельді пештерде қысымсыз қыздыру процесі. Бұл технология қарапайымдылығымен ерекшеленеді, алайда оның бір кемшілігі бар – алынған материалда қалдық кеуектілік сақталады.

Ыстық престеу кезінде ұнтақ материал қыздырылып қана қоймай, сонымен қатар бір мезгілде қысыммен тығыздалады, нәтижесінде қалдық кеуектілік төмендейді. Аталған күйдіру әдістерінің ортақ кемшілігі – процестің инерттілігі, соның салдарынан күйдіру процесін дәл және тиімді басқару мүмкін емес [21]. Ұшқын плазмалық пісіру әдісімен (ағылш.- Spark Plasma Sintering, SPS) технологиясында бұл кемшілік бей-тараптандырылғын. Үлкен ток пен қысқа импульстер қолданылған жағдайда үлгіде температура әлдеқайда жылдам жоғарылайды, бұл жоғарыда аталған әдістермен салыстырғанда процестің әлдеқайда қарқынды өтуін қамтамасыз етеді. Орта есеппен күйдіру процесі 5–25 минут ішінде аяқталады [22]. Ұшқын плазмалық пісіру арқылы өңдеу әдістері кеңінен зерттелуде. Бұл әдіс жақсартылған қасиеттерге ие композиттер алуға мүмкіндік береді. Бұл қондырғының артықшылығы – үлгіні қысқа мерзімде дайындау мүмкіндігіне ие және интерметалдық қосылыстарды және қорытпаларды тиімді алуға жол ашады [23]. Сонымен қатар, түйіршік өлшемі небәрі бірнеше нанометр болатын ұнтақтарды күйдіру кезінде материалда бейсызық құбылыстар (Бенедикс әсері, инверсиялық термоэлектрлік эффект) туындауы мүмкін. Әдетте, ұшқын-плазмалық пісіру процесі 200-2400 °C температура аралығында жүреді, бұл осы технологияны салыстырмалы түрде төмен температуралы күйдіру әдісі ретінде сипаттауға мүмкіндік береді [24]. Осы мүмкіндіктер, алынған материалдың сутегіге тұрақтылығы, сақтау сыйымдылығы және сіңіру қасиеттері оның құрамын немесе элементтік модификациясын өзгерту арқылы оңтайландырылуы мүмкін [19, 25, 26, 27].

МС және ҰПП әдістерін элементтік модификациялаумен үйлестіру сутегіні сақтау сипаттамалары жоғары, әрі тұрақтылығы мен кинетикалық қасиеттері жетілдірілген жаңа буын материалдарын әзірлеудегі келешегі зор, инновациялық ғылыми бағыт болып табылады. Аталған бағыт материалдардың ішкі құрылымы мен морфологиясын наноөлшемде басқаруға мүмкіндік береді, бұл олардың сутегімен әрекеттесуін оңтайландырып, техникалық және энергетикалық параметрлерін айтарлықтай арттырады [28]. Осы зерттеудің басты мақсаты – ұшқын-плазмалық пісіру әдісін қолдана отырып, $LaNi_5$ негізіндегі сутегі жинақтаушы қатты қорытпаның құрылымдық-фазалық құрамын тиімді басқару арқылы, оның сутегі сіңіру қабілеті

жоғары жаңа түрін алу және материалдың перспективті техникалық қолданбалы мүмкіндіктерін зерттеу болып табылады.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу барысында негізгі бастапқы компоненттер ретінде лантан (La) мен никель (Ni) металл ұнтақтары қолданылды. Ұнтақ қоспаларының құрамын таңдау процесі интерметалдық қосылыстардың түзілуіне легирлеуші элементтердің ықпалын зерделеуге бағытталған бұрынғы теориялық және әдеби деректерге негізделді [29]. Бұл тәсіл тәжірибелік параметрлерді дәл анықтауға және мақсатты фазалардың түзілу ықтималдығын арттыруға мүмкіндік берді. Бастапқы ұнтақтардың сипаттамалары №1 кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Бастапқы ұнтақтардың сипаттамасы

№ р/н	Атауы	Маркасы	Тазалығы, %	Бөлшектердің мөлшері, мкм
1	Лантан ұнтағы	-	99%	70
2	Никель ұнтағы	ПНК-УТ3	99,9%	20

Ұнтақ қоспасын планетарлық диірменде әртүрлі параметрлермен механосинтездеу бойынша тәжірибелер жүргізілді. Механосинтез процессі PM100 планетарлық диірменінде жүзеге асырылды.

Тәжірибелер кезінде 1.4034 / AISI 420 маркалы тот баспайтын болаттан жасалған диаметрі 5 мм ұнтақтау шарлары, көлемі 250 мл ұнтақтау ыдысы пайдаланылды. Қажетті ұсақтыққа жетуге оңтайлы шар өлшемін таңдау үшін әдетте шамамен 1000 көбейткіші пайдаланылады. Бұл көбейткіш бастапқы бөлшек өлшемі мен соңғы қажетті бөлшек өлшемі арасындағы қатынасты көрсетеді және ұнтақтау тиімділігін қамтамасыз етеді. Осыған байланысты, қолданылған планетарлық диірмен үлгісінде ұнтақтаудың максималды қол жеткізу дәрежесі 5 мкм дейін болғандықтан, ең қолайлы шар өлшемі 5 мм болып табылады. Ұнтақтау гарнитурасының сипаттамалары 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Ұнтақтау гарнитурасының сипаттамалары

Позициялар атауы	Сипаттамасы	Материалдың қаттылығы	Химиялық құрамы, %
Ұнтақтау ыдысы	көлемі – 250 мл	48-50 HRC	Fe (82,925), Cr (14,5), C (0,5), Mn (1), Si (1), P (0,045), S (0,03)
Ұнтақтаушы шарлар	диаметр – 5 мм		

Тәжірибелер барысында ұнтақтау шарлар массасы мен ұнтақ массасының қатынасы (BRP) 20:1 және 30:1, ал ұнтақтау уақыты 8 сағат аралығында таңдалды. Диірменнің айналу жылдамдығы 400 айн/мин деңгейінде белгіленді. Әрбір ұнтақтау кезеңінде ұнтақтың біркелкі дисперсиясын қамтамасыз ету және бөлшектердің агломерациялануын болдырмау үшін диірменнің айналу бағыты әрбір сағат сайын өзгертіліп отырды. Бұл тәсіл ұнтақ қоспаларының біркелкі ұнтақталуын қамтамасыз етіп, механосинтез процесінің тиімділігін арттырды.

Ұнтақтарды дайындау және өлшеу, сондай-ақ ұнтақ пен шарлар қоспасын ұнтақтау ыдысына салу вакуумдық қолғап қорабында (GVB-3C), аргон атмосферасында жүргізілді. Ұнтақ мөлшері планетарлық диірменнің сипаттамалары мен мүмкіндіктерін ескере отырып есептелді: Ұнтақтау ыдыс көлемінің 1/3 бөлігін толтыру, ұнтақтың массасы қолданылатын ұнтақтау шарларының санын ескере отырып анықталды. Барлық жүргізілген эксперименттерде ұнтақтау шарларының бірдей мөлшері – салмағы 385 грамм, ал көлемі 80-83 мл, бұл шамамен диірмен ыдысының 1/3 бөлігіне сәйкес келді. Ұнтақ қоспасының мөлшері ұнтақтау шарлары мен қоспаның таңдалған қатынасына байланысты анықталды. Жүргізілген тәжірибелердің параметрлері 3-кестеде сипатталған.

Кесте 3 – Тәжірибе параметрлері

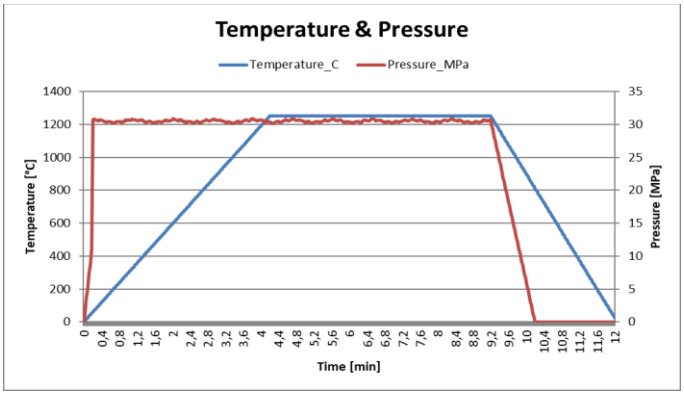
Құрамдық мөлшері (масс.%)	Қысқаша атауы	BRP	Тәжірибе өткізу уақыты, сағ	Үдеу, айн / мин	Ұнтақ массасы, г.	Ортасы	Қысым, кПа	Стеарин қышқылы
La32%Ni68 %	LN-1	20:1	8	400	13,4	Аргон	5	0,53г
	LN-2	30:1	8		13,4			0,53г

Механосинтез әдісімен алынған ұнтақ қоспалар «ISKRA» ҰПП қондырғысында бірдей қысым, температура және ұстау уақыты жағдайларында ұшқын-плазмалық пісіру ҰПП процесі жүргізілді [28]. Агломерациялау үдерісі барысында әрбір ұнтақ қоспасы диаметрі 20 мм болатын цилиндрлік графит матрицаға салынып орналастырылды. Үлгілер мен матрица арасындағы электр және жылу байланысын жақсарту, сондай-ақ реакция беттерін қорғау мақсатында қалыңдығы 1 мм болатын графит қағазы пайдаланылды. Ұшқын-плазмалық пісіру қондырғысында жүргізілген тәжірибелік жұмыстардың параметрлері 4-кестеде келтірілген.

Кесте 4 – ҰПП қондырғысында жүргізілген тәжірибе параметрлері

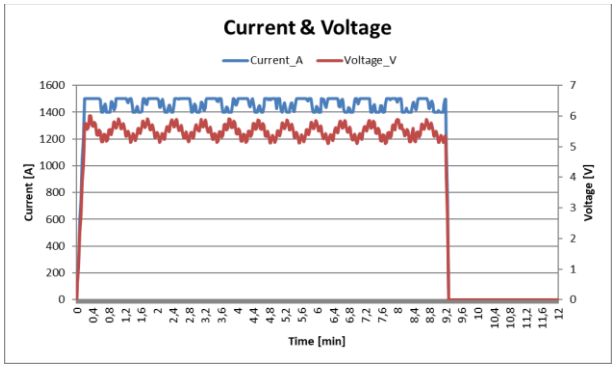
№	Қысқаша атауы	Қысым, МПа	(ҰПП) кезінде ұстау уақыты, мин	Температура, °С	Орта
1	LN-1	32±0,1	5	1250±20	Вакуум
2	LN-2				

Процесс бөлме температурасында вакуумдық ортада жүргізілді; вакуум дәрежесі 10 Па ($7{,}5\times10^{-2}$ Torr) деңгейіне дейін қамтамасыз етілді. Вакуумды екі сатылы роторлы-қанатшалы механикалық сорғы жүйесі ұстап тұрды. Үлгілер 25°C-тан 1250°C-қа дейін 4,2 мин ішінде қыздырылды (қыздыру жылдамдығы шамамен $8{,}17\times10^{2}$°C·мин$^{-1}$), содан кейін 1250°C-та 5 мин ұсталды. Престеу қысымы 32±0,1 МПа деңгейінде сақталды. Салқындату қондырғыға орнатылған су салқындатқыш арқылы жүргізіліп, үлгілер шамамен 2-5 мин ішінде бөлме температурасына жеткізілді. ҰПС процесі үшін мақсатты температура-қысым графигі 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 – ҰПС процесі үшін мақсатты температура-қысым графигі

Электрлік режим (ISKRA). Қуат көзі 0,2 мин ішінде токты I ≤ 1500 А деңгейіне жеткізіп, кернеуді U = 5-6 В аралығында тұрақтандырды. Осы режимде қыздыру жылдамдығы шамамен 300 °С/мин, температура 4,2 мин ішінде 1250 °С-қа жетті; 4,2-9,2 мин аралығында I = 1400-1500 А және U = 5-6 В сақталды. 9,2 мин мезетінде қуат ажыратылды. Ұстау кезеңіндегі ұсақ флуктуациялар кері байланыс арқылы реттеудің әсерінен туындайды. Электрлік режимдер графигі (ток-кернеу) 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2 – Электрлік режимдер графигі

ҰПП әдісімен алынған үлгілер морфологиялық және фазалық сипаттамаларды талдауға дайындау мақсатында (ASTM E3-11 және ISO 9044) халықаралық стандарттарына сәйкес механикалық өңдеуден өткізілді. MetPrep 3 автоматтандырылған құрылғысында дәйекті тегістеу және жылтырату процестері жүргізілді.

Тегістеу сатысында абразивті қағаздар (P400-P1200) бірізді қолданылып, беткі кедір-бұдырлар жойылды. Жылтырату үшін 1 мкм және 0.05 мкм дисперсиялы суспензиялар пайдаланылды, бұл талдау кезінде құрылымдық элементтердің айқын көрінуін қамтамасыз етті.

Өңдеуден кейін үлгілер этанолда және деионизацияланған суда жуылып, ультрадыбыстық ваннада тазартылды және бөлме температурасында кептірілді.

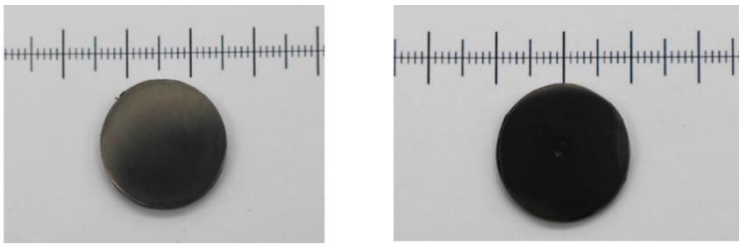
BRP 20:1 және 30:1 массалық қатынаста алынған екі ұнтақ қоспасы және ҰПП әдісімен алынған үлгілер СЭМ энергия-дисперсиялық спектрлік талдау (EDS) модулімен, топографиялық контраст режимінде зерттелді. Талдау барысында екінші реттік электрондар (SE) және кері шашыраған электрондар (BSE) детекторлары қолданылып, бөлшектердің морфологиясы мен элементтік құрамы анықталды.

Қатты фазалы қорытпалардың механикалық қасиеттерін сипаттау үшін қаттылықты анықтау сынағы Виккерс әдісі (HV1) бойынша жүргізілді. Өлшеу жұмыстары Qness 60 M EVO маркалы автоматты твердомер қондырғысында, 1 кгс жүктеме жағдайында жүзеге асырылды. Қаттылықты анықтау процесі халықаралық ISO 6507-1:2018 стандартына сәйкес орындалды.

Механосинтезден кейін алынған үлгілердің рентгендік дифракциялық талдауы X'Pert PRO дифрактометрінің көмегімен жүргізілді. Талдау барысында Cu-Kα сәулеленуі қолданылды, генератор параметрлері 40 кВ кернеу және 30 мА ток мәндерінде орнатылды. Өлшеу кезінде бекітілген ені 0,75 мм және бұрыштық алшақтауы 0,478° болатын саңылау пайдаланылды. Дифрактограммаларды тіркеу 20-90° 2θ бұрыштық диапазонында жүзеге асырылды, сканерлеу қадамының өлшемі 0,020° 2θ, ал әрбір қадамдағы экспозиция уақыты 0,5 с құрады.

Зерттеу нәтижелері және талқылаулар

ҰПП процесінен кейін алынған қорытпа үлгілері тегістеліп және жылтырату сатыларынан өтіп, талдауға жарамды тегіс әрі біртекті бет құрылымына ие болды. ҰПП әдісімен алынған қорытпа үлгінің жалпы сыртқы көрінісі 2-суретте көсетілген.



а) LN-1 б) LN-2

Сурет 2 – ҰПП әдісімен алынған қорытпа үлгінің жалпы сыртқы көрінісі

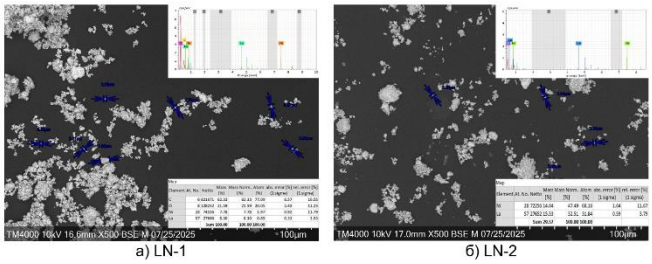
ҰПП әдісімен алынған үлгілердің геометриялық өлшемдері мен массалық сипаттамалары төмендегідей нәтижелер көрсетті. LN-1 үлгісі цилиндрлік пішінде алынып, оның диаметрі 19,66 мм, биіктігі 2,38 мм, ал салмағы 5,1899 г болды. LN-2 үлгісі де аналогиялық түрде дайындалды, оның диаметрі 19,58 мм, биіктігі 2,51 мм, салмағы 5,2019 г-ды құрады.

Сканерлеуші электронды микроскопия талдауы (СЭМ)

МС процесінен кейін алынған ұнтақ қоспалары сканерлеуші электрондық микроскопта топографиялық контраст режимінде, екінші реттік электрондар (SE) детекторын қолдану арқылы зерттелді. Зерттеу нәтижесінде бөлшектердің беттік ауданының айтарлықтай ұлғайғаны және бастапқыда берілген стехиометриялық құрамның сақталғаны анықталды. 3-суретте механосинтезден кейін ұнтақ қоспаларының топографиялық контраст режимінде алынған СЭМ кескіндері көрсетілген.

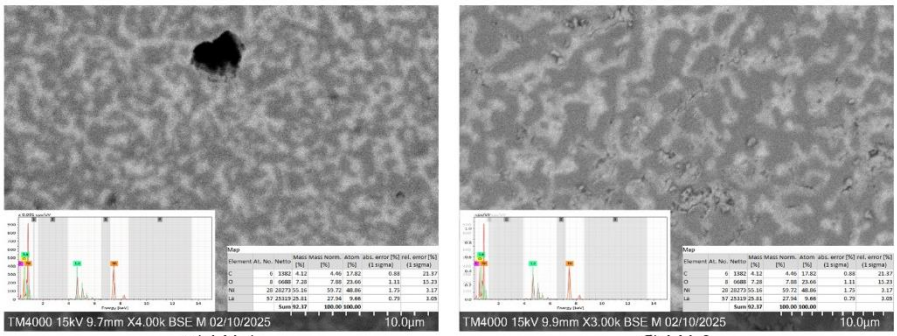
Микроскопиялық талдау нәтижелері бойынша, шар мен ұнтақтың 1:20 қатынасында синтезделген қоспаларда қоспаларда $LaNi_5$ үшін орташа бөлшек өлшемі 5,78 мкм, ал 30:1 қатынасындағы қоспалар үшін орташа бөлшек өлшемі 7,32 мкм. Энергия-дисперсиялық спектрлік талдау нәтижесінде алынған спектрлік деректер ұнтақтардың элементтік құрамының бастапқыда берілген стехиометриялық арақатынасына жақын екенін көрсетті. Сонымен қатар, кейбір үлгілерде құрамдағы жеңіл ауытқулар тіркелді, бұл мүмкін болатын сыртқы факторлармен байланысты болуы ықтимал. Атап айтқанда, талдау кезінде аз мөлшерде

көміртек пен оттегінің байқалуы – үлгілерді СЭМ алаңына бекіту кезінде қолданылған көміртекті желімнің болуымен түсіндіріледі (4 сурет).



а) LN-1 б) LN-2

Сурет 3 – МС кейін ұнтақ қоспаларының топографиялық контраст режимінде алынған СЭМ кескіндері

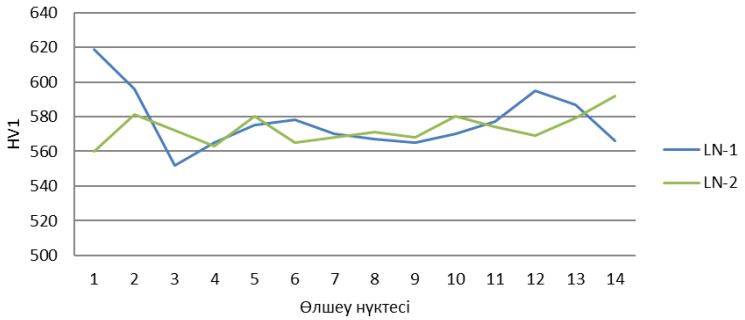


а) LN-1 б) LN-2

Сурет 4 – ҰПП кейін қорытпаның топографиялық контраст режимінде алынған СЭМ кескіндері

LN-1 үлгісі тығыз, ұсақ түйіршікті құрылымға ие, ол лантан мен никель бөлшектерінен тұрады. ҰПП процесі мен кейінгі салқындату нәтижесінде пайда болған аздаған қуыстар мен жарықшалар байқалады. Бұл көрсеткіштер ҰПП процесі кезінде қолданылған қысым мен температура параметрлері бірдей болған жағдайда, ұнтақ қоспаларының бастапқы массалық қатынасы (20:1 және 30:1) дайын қорытпалардың тығыздығы мен қалыптасу ерекшеліктеріне әсер ететінін көрсетті.

ҰПП әдісімен алынған қорытпа үлгілерінің механикалық қасиеттерін бағалау мақсатында қаттылықты анықтау сынағы жүргізілді. 5-суретте LN-1 және LN-2 үлгілерінің қаттылық мәндері график түрінде көрсетілген.

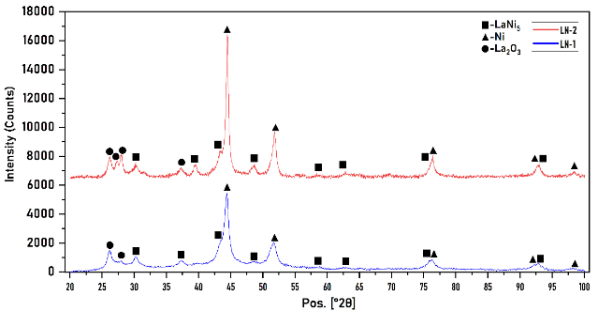


Сурет 5 – ҰПП әдісімен алынған LN-1 және LN-2 үлгілерінің қаттылық сипаттамалары

Жүргізілген 14 өлшем нәтижесінде LN-1 үлгісінің қаттылық мәндері 552-619 HV аралығында тіркеліп, орташа мәні 577,3 HV құрады. Сол сияқты, LN-2 үлгісінің қаттылық көрсеткіштері де ұқсас диапазонда (548-613 HV) орналасып, орташа мәні 570 HV шамасында болды. Екі үлгідегі қаттылық нәтижелерінің өзара жақындығы агломерация процесінің тұрақты технологиялық режимде жүргізілгенін және алынған қорытпалардың құрылымдық жағынан біркелкі консолидацияланғанын көрсетеді.

Рентгенфазалық талдау (РФТ)

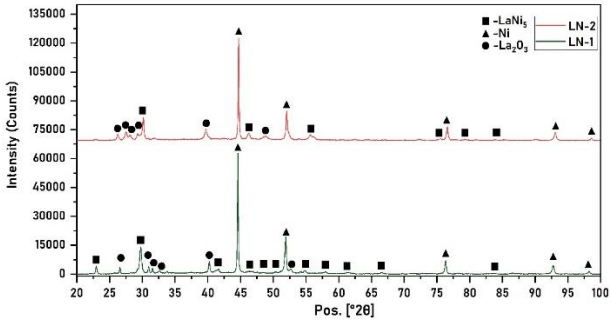
6-суретте МС әдісімен алынған La–Ni жүйесінің ұнтақ үлгілерінің рентгендік дифрактограммалары көрсетілген. Бұл үлгілер арасындағы басты айырмашылық – ұнтақ пен шар массасының арақатынасы (BPR): LN-1 үлгісі үшін ол 20:1, ал LN-2 үлгісі үшін – 30:1 құрайды. Үлгілерден анықталған фазалық құрам келесі фазалардан тұрады: $LaNi_5$ (PDF 04-008-6308), Ni (PDF 04-010-6148), және La_2O_3 (PDF 04-015-4999).



Сурет 6 – МС-тан кейін алынған LN-1 және LN-2 ұнтақ үлгілерінің дифрактограммалары

Диффрактограммаларда МС-тен кейінгі ұнтақтарға тән рефлекстердің ені кеңейгені байқалады, бұл механикалық әсер нәтижесінде кристалдық құрылымда пайда болатын бұзылулармен байланысты. Екі үлгіде де $LaNi_5$ фазасының қалыптаса бастағаны байқалады. Алайда, LN-1 үлгісінде негізгі фазадан бөлек, La_2O_3 оксиді де анықталды, бұл материалдың ішінара тотығуын көрсетеді. Ал LN-2 үлгісінде $LaNi_5$ фазасына сәйкес келетін шыңдардың интенсивтілігі айтарлықтай жоғары, бұл оның фазалық тазалығының жоғары екенін білдіреді. Дегенмен, екі үлгіде де $LaNi_5$-ке тән дифракциялық шыңдар әлсіз көрінеді, бұл синтез процесінің толық аяқталмағанын көрсетеді.

7-суретте ҰПП әдісімен агломерацияланған LN-1 және LN-2 үлгілерінің дифрактограммалары көрсетілген. LN-1 үлгісінде үш түрлі фазаға тән шыңдар байқалды: $LaNi_5$, Ni және La_2O_3. Бұл фазаларға тән дифракциялық пиковтардың интенсивтілігі салыстырмалы түрде төмен, бұл олардың төмен кристалдылығы немесе фазалық концентрациясының аздығымен түсіндірілуі мүмкін. Әсіресе, La_2O_3 фазасына сәйкес келетін шыңдар айқын көрінеді, бұл оның үлгі құрамында елеулі мөлшерде бар екенін көрсетеді.



Сурет 7 – ҰПП-дан кейінгі LN-1 және LN-2 қортпаларының дифрактограммалары

Ал LN-1 үлгісіне қарағанда, LN-2 үлгісі әлдеқайда жоғары интенсивтілікпен сипатталады. Негізгі дифракциялық шыңдар $LaNi_5$ және металдық никель фазаларына тиесілі. La_2O_3 фазасына сәйкес келетін шыңдар әлсіз көрінеді немесе мүлде байқалмайды. Бұл лантан оксидінің синтез немесе термиялық өңдеу барысында толығырақ тотықсызданғанын білдіруі мүмкін.

Осылайша, екі үлгі де $LaNi_5$ және Ni фазаларын қамтиды, алайда олар кристалдылық дәрежесі мен лантан оксидінің болуы жағынан бір-бірінен ерекшеленеді. LN-2 үлгісі жоғарырақ кристалдылықты көрсетеді және, болжам бойынша, синтездің неғұрлым оңтайлы шарттарында алынған.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу $LaNi_5$ қорытпасы негізінде сутегін жинайтын материалдарды алу үшін ҰПП әдісін қолдану перспективасын растады. Бастапқы компоненттердің

температуралық режимін, қысымы мен арақатынасын қоса алғанда, синтез параметрлерін таңдау $LaNi_5$, La_2O_3 сияқты соңғы фазалық құрамның және микроқұрылымның аз мөлшерде қалыптасуына айтарлықтай әсер ететіні анықталды, ал микроқұрылымдық зерттеулер фазалардың біркелкі таралуын және сутегі сорбциясына қолайлы дамыған бетті көрсетті. Алынған нәтижелер сутегін жинайтын қорытпаларды синтездеуде ҰПП әдісінің жоғары тиімділігін көрсетеді және сутегі энергиясы үшін жаңа материалдарды әзірлеуде пайдаланылуы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі

1. The role of renewable energy in the global energy transformation / D. Gielen et al // J. Energy Strategy Rev. – 2019. – № 24. – P. 38-50.
2. Garba B. Renewable Energy Sources, Sustainability and Environmental Protection: A Review / B. Garba, M. Abdulrahman // European Journal of Theoretical and Applied Sciences. – 2024. – Т. 2, № 2. – P. 449-462. https://doi.org/10.59324/ejtas.2024.2(2).39.
3. Dawood F. Hydrogen production for energy: An overview / F. Dawood, M. Anda, G.M. Shafiullah // Int. J. Hydrogen Energy. – 2020. – № 45. – P. 3847-3869.
4. Zubairu N. A review of hydrogen energy in renewable energy supply chain finance / N. Zubairu, L.Al Jabri, A. Rejeb // Discover Sustainability. – 2025. – Vol. 6, art. 186. https://doi.org/10.1007/s43621-025-01007-0.
5. Reda S.M. Green hydrogen as a source of renewable energy / S.M. Reda // Environmental Science and Pollution Research. – 2024. https://doi.org/10.1007/s11356-024-35429-0.
6. Jaradat M.A. Green Hydrogen in Focus: A Review of Production, Storage, and Applications / M.A. Jaradat, K.M. Al-Azzam, M.A. Hammad // Energies. – 2024. – Vol. 17, № 16. – Article 3992. https://doi.org/10.3390/en17163992.
7. Hydrogen production, storage, transportation and key challenges with applications: A review / A.M. Abdalla et al // Energy conversion and management. – 2018. – Vol. 165. – P. 602-627.
8. Hydrogen production, transportation, utilization, and storage: Recent advances towards sustainable energy / N.S. Muhammed et al // Journal of energy storage. – 2023. – Vol. 73. – P. 109207.
9. Drawer C. Metal hydrides for hydrogen storage–Identification and evaluation of stationary and transportation applications / C. Drawer, J. Lange, M. Kaltschmitt // Journal of energy storage. – 2024. – Vol. 77. – P. 109988.
10. Perspectives and challenges of hydrogen storage in solid-state hydrides / Z. Chen et al // Chinese Journal of Chemical Engineering. – 2021. – Vol. 29. – P. 1-12.
11. Nemukula E. Metal Hydrides for Sustainable Hydrogen Storage: A Review / E. Nemukula // Energy Reports. – 2025. https://doi.org/10.1155/er/6300225.
12. Boser O. Hydrogen sorption in LaNi5 / O. Boser // Journal of the Less Common Metals. – 1976. – Vol. 46, № 1. – P. 91-99.
13. LaNi5 related AB5 compounds: Structure, properties and applications / J.M. Joubert et al // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Vol. 862. – P. 158163.
14. Jurczyk M. (ed.). Handbook of nanomaterials for hydrogen storage. – CRC Press, 2017.
15. Suzuki K. Degradation of LaNi5 and LaNi4. 7Al0. 3 hydrogen-absorbing alloys by cycling / K. Suzuki, K. Ishikawa, K. Aoki // Materials Transactions, JIM. – 2000. – Vol. 41, № 5. – P. 581-584.
16. Łodziana Z. Surface properties of LaNi5 and TiFe – Future opportunities of theoretical research in hydrides / Z. Łodziana // Frontiers in Energy Research. – 2021. – Vol. 9. – P. 719375.
17. Hydrogen absorption reactions of hydrogen storage alloy LaNi5 under high pressure / T. Sato et al // Molecules. – 2023. – Vol. 28, № 3. – P. 1256.
18. Polytypism of La–Ni phases in multicomponent AB5 type hydride electrode alloys / Y. Chen et al // International journal of hydrogen energy. – 2002. – Vol. 27, № 1. – P. 63-68.
19. Liu Y. Optimization of LaNi5 hydrogen storage properties by the combination of mechanical alloying and element substitution / Y. Liu, D. Chabane, O. Elkedim // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Vol. 53. – P. 394-402
20. Experimental investigation of the hydrogen storage capacity in LaNi3. 6Al0. 4Mn0. 3Co0. 7 alloy / S. Harrat et al // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. –Vol. 77. – P. 33-39.
21. Kaszyca K. Using the Spark Plasma Sintering System for Fabrication of Materials / K. Kaszyca. // Materials. – 2024.

22. MAX phases and their spark plasma sintered composites / G.O. Kayan et al // Smart Materials Research. – 2025.
23. Munir Z.A. The effect of electric field and pressure on the synthesis and consolidation of materials: A review of the spark plasma sintering method / Z.A. Munir, U. Anselmi-Tamburini, M. Ohyanagi // Journal of Materials Science. – 2006. – Vol. 41. – P. 763-777. https://doi.org/10.1007/s10853-006-6555-2..
24. Influence of transition metals on hydrogen storage properties of $LaNi_5$ alloy / K. Asheesh et al // International Atomic Energy Agency. – 2022. – P. 31-35.
25. Khan, H.B. Metal hydride hydrogen storage risk assessment: A review / H.B. Khan // International Journal of Hydrogen Energy. – 2025.
26. Experimental and Mathematical Investigation of Hydrogen Absorption in LaNi5 and La0. 7Ce0. 1Ga0. 3Ni5 Compounds / S. Belkhiria et al // Metals. – 2024. – Vol. 14, № 9. – P. 967.
27. Improvement of hydriding kinetics of LaNi 5-type metal alloy through substitution of nickel with tin followed by palladium deposition / T.R. Somo et al // Bulletin of Materials Science. – 2022. – Vol. 45. – P. 1-11.
28. Evolution of Phase Transformations in the Mg-Ni-Ce System After Mechanical Synthesis and Spark Plasma Sintering. Nuriya Mukhamedova, Arman Miniyazov,Gainiya Zhanbolatova, Zhanna Ospanova, Aisara Sabyrtayeva, Karina Shaikieva. – Materials 2025. – V. 18. https://doi.org/10.3390/ma18092131.
29. $LaNi_5$ related AB_5 compounds: Structure, properties and applications / J.M. Joubert et al // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Vol. 862. – P. 158163.

Алғыс

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен BR21882200 «Сутегін өндіруге, сақтауға және электр энергиясын генерациялауға арналған инновациялық технологияларды, материалдар мен құрылғыларды әзірлеу және зерттеу» тақырыбы бойынша бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру аясында орындалды.

Авторлар Сутегі энергетикасы саласындағы технологиялық құзыреттер орталығының ұжымына зерттеуді жүргізуге көрсеткен қолдаулары мен көмектері үшін шынайы алғыс білдіреді.

А.Ж. Миниязов[1,2], М.К. Скаков[1], Н.М. Мухамедова[1,2]*, О. Өкен[1], М.Е. Скопченко[1]
[1]Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК,
071100, Республика Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбит атом, 10
[2]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
*e-mail: bakayeva@nnc.kz

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛА НАКОПИТЕЛЯ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ $LANI_5$ МЕТОДОМ ИСКРОПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

В данной статье исследована технология получения сплава на основе $LaNi_5$ методом искрового плазменного спекания (ИПС) для хранения водорода. Предварительная механическая активация и механический синтез проводились с использованием металлических порошков лантана (La) и никеля (Ni) в массовых соотношениях 20:1 и 30:1. Подготовленные порошковые смеси помещались в графитовую матрицу диаметром 20 мм, предварительно подпрессовывались и спекались на установке искрового плазменного спекания ISKRA при температуре 1250°C и постоянном давлении в среде вакуума.

Для фазового анализа синтезированных образцов использовался метод рентгеновской дифрактометрии, в результате чего были определены фазовые превращения и кристаллические особенности структуры сплава. В результате было установлено, что наблюдается образование фазы $LaNi_5$. Помимо основной фазы, обнаружен также оксид La_2O_3, что свидетельствует о частичном окислении материала. Кроме того, морфология и микроструктура материала были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа, что позволило охарактеризовать поверхностную структуру и распределение размеров частиц полученных образцов. Результаты исследования подтвердили эффективность метода механического синтеза и искрового плазменного спекания для получения материала на основе $LaNi_5$ для хранения водорода и позволили

определить влияние параметров синтеза на фазовый состав и микроструктурные характеристики полученного материала.

***Ключевые слова**: механосинтез, механическая активация, порошковая смесь, водород, лантан, никель, искрово-плазменное спекание.*

A.Zh. Miniyazov[1,2], M.K. Skakov[1], N.M. Mukhamedova[1,2*], O. Oken[1], M.E. Skopchenko[1]
[1]Branch of the Institute of Atomic Energy of the RSE NNC RK,
071100, Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Beybit Atom St. 10.
[2]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka St. 20A
*****e-mail: bakayeva@nnc.kz

PRODUCTION OF HYDROGEN STORAGE MATERIAL BASED ON $LaNi_5$ BY SPARK-PLASMA SINTERING

In this paper, we study the technology of producing a $LaNi_5$-based alloy by spark plasma sintering (SPS) for hydrogen storage. Preliminary mechanical activation and mechanical synthesis were carried out using lanthanum (La) and nickel (Ni) metal powders in mass ratios of 20:1 and 30:1. The prepared powder mixtures were placed in a graphite matrix with a diameter of 20 mm, pre-pressed and sintered on an ISKRA spark plasma sintering unit at a temperature of 1250 °C and constant pressure in a vacuum environment.

X-ray diffractometry was used for phase analysis of the synthesized samples, as a result of which phase transformations and crystalline features of the alloy structure were determined. As a result, it was found that the $LaNi_5$ phase is formed. In addition to the main phase, La_2O_3 oxide was also detected, which indicates partial oxidation of the material. In addition, the morphology and microstructure of the material were studied using a scanning electron microscope, which allowed us to characterize the surface structure and particle size distribution of the obtained samples. The results of the study confirmed the effectiveness of the mechanical synthesis and spark plasma sintering method for obtaining a $LaNi_5$-based material for hydrogen storage and made it possible to determine the effect of synthesis parameters on the phase composition and microstructural characteristics of the obtained material.

***Key words:** mechanosynthesis, mechanical activation, powder mixture, hydrogen, lanthanum, nickel, spark plasma sintering.*

Авторлар туралы мәліметтер

Арман Жанарбекұлы Миниязов – PhD, ҚР ҰЯО РМК Атом энергиясы институты филиалы директорының орынбасары, ҚР ҰЯО РМК Атом энергиясы институты филиалы, Қазақстан; e-mail: Miniyazov@nnc.kz ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2188-8075.

Мажын Канапинұлы Скаков – физика-математика ғылымдарының докторы, ҚР ҰЯО РМК бас ғылыми қызметкері, Қазақстан; e-mail: skakov@nnc.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3716-8846.

Нурия Мейрамканқызы Мухамедова* – PhD докторы, ҚР ҰЯО РМК Атом энергиясы институты филиалының перспективті материалдар зертханасының бастығы, Қазақстан; e-mail: bakayeva@nnc.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4189-6539.

Оспан Өкен – ҚР ҰЯО РМК Атом энергиясы институты филиалының перспективті материалдар зертханасының лаборанты, Қазақстан; e-mail: oken@nnc.kz.

Михаил Евгельевич Скопченко – ҚР ҰЯО РМК Атом энергиясы институты филиалының перспективті материалдар зертханасы тоб бастығы, Қазақстан; e-mail:skopchenko@nnc.kz.

Сведения об авторах

Арман Жанарбекович Миниязов – PhD, заместитель директора филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК, филиал Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, Қазақстан; e-mail: Miniyazov@nnc.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2188-8075.

Мажын Канапинович Скаков – д.ф.-м.н. главный научный сотрудник РГП НЯЦ РК, Қазақстан; e-mail: skakov@nnc.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3716-8846.

Нурия Мейрамкановна Мухамедова* – PhD, начальник лаборатории перспективных материалов филиал Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, Қазақстан; e-mail: bakayeva@nnc.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4189-6539.

Оспан Окен – техник-лаборатории лаборатории перспективных материалов филиал Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, Қазақстан; e-mail: oken@nnc.kz.

Михаил Евгельевич Скопченко – начальник группы лаборатории перспективных материалов филиал Институт атомной энергии РГП НЯЦ РК, Қазақстан; e-mail: skopchenko@nnc.kz.

Information about the author

Arman Miniyazov – PhD, deputy director of the branch of the Institute of Atomic Energy of the RSE NNC RK, branch of the Institute of Atomic Energy of the RSE NNC RK, Kazakhstan; e-mail: Miniyazov@nnc.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2188-8075.

Mazhyn Skakov – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher, RSE NNC RK, Kazakhstan; e-mail: skakov@nnc.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3716-8846.

Nuriya Mukhamedova* – PhD, Head of the Laboratory of Advanced Materials, branch of the Institute of Atomic Energy of the RSE NNC RK, Kazakhstan; e-mail: bakayeva@nnc.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4189-6539.

Ospan Oken – laboratory technician of the laboratory of advanced materials, branch of the Institute of Atomic Energy of the RSE NNC RK, Kazakhstan; e-mail: oken@nnc.kz.

Mikhail Skopchenko – Head of the group of the laboratory of advanced materials, branch of the Institute of Atomic Energy of the RSE NNC RK, Kazakhstan; e-mail: skopchenko@nnc.kz.

Редакцияға енуі 01.07.2025
Өңдеуден кейін түсуі 14.08.2025
Жариялауға қабылданды 18.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-59

МРНТИ: 55.22.00

CC BY 4.0
Check for updates

Л.С. Баймолданова[1*], А.Д. Погребняк[2], Баяндинова М.Б.[1], Сакенова Р.Е.[1]
[1]Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова,
Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, улица Крылова, 72
[2]Сумский государственный университет,
Украина, Сумская область, Сумы, улица Римского-Корсакова, 2
*e-mail: baimoldals@gmail.com

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НАНОСЛОИСТЫХ ПОКРЫТИЯХ (TIALSIY)N/CRN ПОСЛЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНАМИ ЗОЛОТА

Аннотация: *В настоящей работе исследовано влияние ионной имплантации ионами золота (Au^-) с энергией 60 кэВ и флюенсом 1×10^{17} ион/см² на структурно-фазовое состояние многослойных покрытий (TiAlSiY)N/CrN, полученных методом магнетронного напыления. С целью комплексного анализа были применены методы grazing-инцидентной рентгеновской дифрактометрии (GIXRD), просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (HRTEM), вторичного ионного масс-спектрометрического анализа (SIMS), обратного рассеяния ионов (RBS), а также SRIM-моделирования пробега ионов. Показано, что ионная имплантация приводит к аморфизации приповерхностной зоны толщиной ~20 нм, снижению размера кристаллитов с ~8 нм до 4-5 нм и размытому межслойному перемешиванию компонентов. Установлено селективное распыление азота, превышающее в 3-4 раза значения для Ti и Al, что сопровождается локальной нестехиометрией и перераспределением легирующих элементов, таких как Si и Y. Результаты моделирования и экспериментальные данные коррелируют и указывают на существенное разрушение исходной кристаллической структуры в зоне имплантации. Полученные результаты могут быть использованы при разработке радиационно-стойких, износоустойчивых и термически стабильных защитных покрытий для эксплуатации в условиях высокоэнергетического облучения, термомеханических нагрузок и агрессивных сред.*

Ключевые слова: *наслоистые покрытия, TiAlSiY(N)/CrN, ионная имплантация, фазовые превращения, XRD, HRTEM, аморфизация, ионное перемешивание.*

Введение

Многослойные нанокомпозитные покрытия на основе нитридов переходных металлов являются перспективными материалами для эксплуатации в условиях интенсивного износа, термических и радиационных нагрузок [1, 2]. Благодаря чередованию наномасштабных слоёв с различной химической природой, такие покрытия демонстрируют супертвёрдость, стабильную текстуру роста и повышенную термостабильность [3, 4]. Особенно эффективно проявляют себя покрытия системы (TiAlSiY)N/CrN, сочетающие высокую твёрдость нитрида титана с хорошей термической стабильностью CrN и легирующими добавками Al, Si и Y [5-7].

Имплантация ионов тяжёлых металлов в твёрдые тела используется как эффективный метод модификации структуры без изменения химического состава и морфологии поверхности [8, 9]. В результате ионной имплантации могут формироваться каскады смещений, приводящие к локальному разрушению кристаллической решётки, ионному перемешиванию и аморфизации [10-12]. Эти процессы оказывают значительное влияние на физико-механические свойства покрытия – в частности, на его нанотвёрдость, пластичность и устойчивость к термическому разрушению.

В ряде работ [13, 14] показано, что в многослойных системах типа TiN/CrN или TiAlN/CrN под действием ионного облучения происходит изменение фазового состава, снижение степени кристалличности и образование аморфных прослоек. GIXRD-анализ позволяет фиксировать смещение пиков дифракции, уменьшение параметра решётки и рассеяние текстуры, что интерпретируется как формирование неупорядоченной фазы. TEM и HRTEM-исследования подтверждают уменьшение размера зёрен, появление высокодефектных областей и аморфных сегментов.

Кроме того, теоретическое моделирование с использованием программы SRIM демонстрирует, что пробег ионов золота при энергиях порядка 60 кэВ составляет 20-25 нм, что соответствует толщине одного-двух нанослоёв [15]. Это подтверждает возможность ионного перемешивания и локальной нестехиометрии, особенно на границах между слоями (TiAlSiY)N и CrN [16]. В сочетании с экспериментальными данными RBS, SIMS и STEM такой подход позволяет комплексно охарактеризовать фазовые преобразования, вызванные радиационным воздействием.

Таким образом, изучение структурно-фазовых изменений в многослойных покрытиях (TiAlSiY)N/CrN под действием ионной имплантации представляет собой актуальную задачу технической физики и материаловедения, направленную на создание терморадиационно-стойких наноматериалов.

Материал и методы исследования

В качестве подложек использовались пластины из нержавеющей стали размером 2,2 × 2,0 см и толщиной 2 мм. Перед нанесением покрытий подложки прошли механическую и ионно-плазменную очистку. Многослойные покрытия (TiAlSiY)N/CrN были сформированы методом вакуумно-дугового испарения с использованием чередующихся катодов высокой чистоты (не менее 99,8 %) на установке ионно-плазменного напыления. В качестве реактивного газа использовался высокочистый азот. Толщина каждого элементного слоя составляла около 18–20 нм, а суммарная толщина покрытия превышала 4 мкм. Нанесение велось в импульсном режиме с чередованием катодов TiAlSiY и Cr. Образцы после осаждения были отполированы до средней шероховатости Ra = 0,02-0,15 мкм.

Ионная имплантация проводилась на ускорителе Nissan High Voltage Co. Ltd при энергии 60 кэВ и дозе 1×10^{17} см$^{-2}$. В качестве ионов-имплантатов использовались ионы золота Au^-. Ток ионного пучка не превышал 4 мА. Имплантация осуществлялась на второй группе образцов, в то время как первая группа использовалась в качестве контроля (без имплантации).

Структурный анализ проводился методом гребневой рентгеновской дифракции (GIXRD) на установке с углом падения 15°, в диапазоне 2θ от 30° до 80°. Для определения размеров кристаллитов использовалась формула Дебая-Шеррера.

Микроструктура покрытий изучалась с помощью просвечивающей электронной микроскопии (HRTEM и STEM) на микроскопе JEOL JEM-F200 (200 кВ), с использованием режимов тёмнопольного контрастирования (HAADF) и анализа зонной дифракции (FFT).

Анализ глубинного распределения элементов выполнялся методом вторичной ионной масс-спектрометрии (SIMS) на установке Hiden Analytical SIMS Workstation с ионным источником O_2^+ (2 кэВ), при дозированном введении кислорода в камеру до давления 1×10^{-6} Торр. Область сканирования составляла 300×300 мкм и 500×500 мкм.

Моделирование пробега ионов выполнялось с помощью программного пакета SRIM 2013 по методу Монте-Карло, с учётом плотности и состава покрытий.

RBS-анализ (обратное упругое рассеяние) осуществлялся с использованием ионов гелия $^4He^+$ с энергией 1,4 МэВ на электрооптическом генераторе, для оценки глубинного распределения атомов и подтверждения результатов SIMS и TEM.

Результаты и обсуждения

На дифрактограмме покрытия (TiAlSiY)N/CrN, приведенной на рисунке 1, полученного методом вакуумно-дугового осаждения до ионной имплантации, наблюдаются выраженные дифракционные максимумы, соответствующие кубической фазе нитрида титана. Наиболее интенсивный пик зафиксирован в области 2θ ≈ 36,5°, что соответствует отражению по плоскости (111) кристаллической решетки NaCl-типа. Это указывает на наличие доминирующей текстуры роста TiN по направлению [111], что характерно для нитридных покрытий с высокой плотностью упаковки атомов в данной плоскости. Дополнительные пики при 2θ ≈ 43° и 2θ ≈ 63° также относятся к TiN и соответствуют отражениям от плоскостей (200) и (220), соответственно. Наличие сразу нескольких рефлексов указывает на хорошую кристалличность покрытия и поликристаллическую структуру с предпочтительной ориентацией.

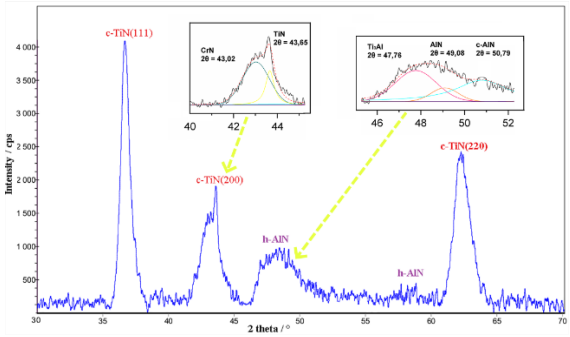


Рисунок 1 – GIXRD-дифрактограмма исходного многослойного покрытия (TiAlSiY)N/CrN при угле падения 15°

Особый интерес представляет область 2θ≈43°, где наблюдается частичное перекрытие дифракционных пиков TiN(200) и CrN(200), что подтверждается деконволюцией, представленной на вставке. Пики TiN и CrN находятся вблизи друг друга, что логично при формировании многослойной структуры с чередованием слоев TiAlSiY(N) и CrN толщиной около 18–20 нм. Это наложение сигналов свидетельствует о тонком распределении фаз и близости их решеточных параметров. Совместное присутствие этих фаз подтверждает, что осаждение проводилось в режиме последовательного чередования катодов, и слоистая архитектура была успешно сформирована.

В интервале углов 2θ от 47° до 51° регистрируются менее интенсивные, но хорошо различимые пики, соответствующие гексагональной фазе нитрида алюминия AlN. Формирование h-AlN свидетельствует о фазовом обособлении алюминия в условиях насыщения структуры, когда его содержание превышает предел растворимости в решетке TiN. В этих же пределах фиксируются сигналы, указывающие на наличие фаз TiAlN и, возможно, кубического AlN, который представляет собой метастабильную модификацию. Присутствие данных фаз подтверждает сложную многокомпонентную природу покрытия и его метастабильную структуру.

Уширение основных дифракционных максимумов свидетельствует о нанокристалличности структуры, а также о наличии внутренних напряжений и дефектов. Расчеты по формуле Дебая-Шеррера показывают, что средний размер кристаллитов составляет около 8 нм. При этом отсутствие посторонних фаз, таких как оксиды или карбонаты, указывает на чистоту процесса осаждения и отсутствие значительного окисления во время формирования покрытия.

Полученные данные рентгеноструктурного анализа подтверждают формирование многослойного наноструктурированного покрытия (TiAlSiY)N/CrN с доминирующей текстурой роста TiN по плоскости (111), присутствием сопутствующих фаз CrN, h-AlN и TiAlN, а также с высокой степенью упорядоченности и мелкозернистой структурой. Такая архитектура обеспечивает основу для стабильных механических свойств и высокой радиационной стойкости, а также играет ключевую роль в механизмах последующих изменений структуры при воздействии ионной имплантации.

Морфологические и микроструктурные особенности многослойного покрытия (TiAlSiY)N/CrN подтверждаются результатами сканирующей электронной микроскопии, представленной на рисунке 2. Поперечное сечение (a), полученное при увеличении ×6500, демонстрирует равномерную толщину покрытия, составляющую около 5,14 мкм. Покрытие обладает плотной структурой без признаков пор или включений, с чёткой границей между подложкой и осаждённым слоем, что свидетельствует о хорошей адгезии и стабильности процесса осаждения. Вертикально ориентированные зерна, наблюдаемые в структуре, указывают на столбчатый характер роста, типичный для покрытий, сформированных методом вакуумно-дугового испарения с азотной реакционной атмосферой.

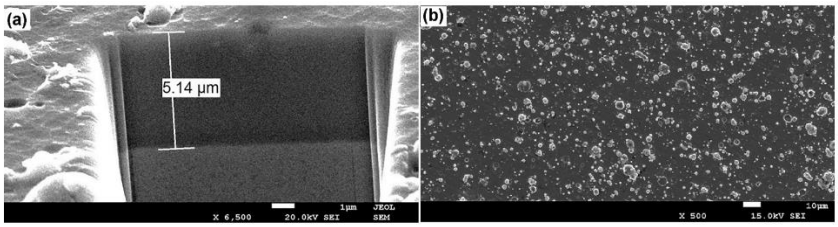


Рисунок 2 – СЭМ-изображения необлученного покрытия (TiAlSiY)N/CrN:
(a) поперечное сечение; (b) морфология поверхности

Микрофотография поверхности (b), снятая при увеличении ×500, демонстрирует распределение округлых микрочастиц различного диаметра, типичных для капельного переноса материала при дуговом осаждении. Несмотря на наличие капель, поверхность сохраняет однородность и не содержит выраженных дефектов или трещин, что подтверждает высокое качество полученного покрытия.

Морфологические данные хорошо согласуются с результатами рентгеноструктурного анализа. До воздействия ионной имплантации в структуре покрытия доминирует текстура роста по плоскости TiN(111), что также соответствует вертикальной ориентации зёрен, наблюдаемой на поперечном сечении. Присутствие дополнительных рефлексов от плоскостей (200) и (220), а также слабо выраженных пиков, соответствующих гексагональному AlN, указывает на поликристаллическую природу структуры и наличие в системе сопутствующих фаз.

После ионной имплантации (Au^-, 60 кэВ, 1×10^{17} $см^{-2}$) наблюдается снижение интенсивности основных дифракционных максимумов, их уширение и частичное смещение в область меньших углов. Эти изменения свидетельствуют о разрушении кристаллического порядка, увеличении дефектности, развитии аморфизации в приповерхностной зоне, а также возможном уменьшении параметров решётки вследствие напряжений и нестехиометрии. Расчёты по формуле Дебая–Шеррера показывают уменьшение среднего размера кристаллитов с ~8 нм до ~4–5 нм, что подтверждает радиационно-индуцированную фрагментацию зёрен и ионно-обусловленные фазовые преобразования в структуре покрытия.

Структурные особенности покрытия (TiAlSiY)N/CrN до и после ионной имплантации детально изучены с использованием просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (HRTEM, STEM), а также методом спектроскопии упругого обратного рассеяния (RBS). В исходном состоянии покрытие характеризуется ярко выраженной многослойной наноструктурой с чередованием слоев (TiAlSiY)N и CrN. Средняя толщина отдельных слоёв составляет порядка 18 нм для (TiAlSiY)N и 13 нм для CrN, что подтверждается прямыми наблюдениями в режиме TEM. Отдельные слои имеют чёткие границы, визуально различимы по контрасту, и демонстрируют упорядоченный столбчатый рост с преобладающей ориентацией. Размер нанозёрен находится в пределах 6–8 нм, структура покрытий в целом сохраняет высокую степень кристалличности.

На рисунке 3 приведен RBS-спектр многослойного покрытия (TiAlSiY)N/CrN до ионной имплантации: сравнение экспериментальных данных с симуляцией и распределение основных элементов по глубине, где отчётливо прослеживаются пиковые сигналы от всех основных элементов, входящих в состав покрытия, включая N, Al, Si, Cr, Ti и Y. Симулированная модель (синяя линия) демонстрирует хорошее соответствие экспериментальной кривой (красная линия), что указывает на корректную аппроксимацию

элементного состава и однородное распределение элементов по глубине. Пик азота в области 140-150 канала подтверждает его равномерное присутствие в нитридной матрице. Пики алюминия и кремния в районе 260-300 каналов соответствуют включению легирующих компонентов в кубическую решётку TiN. Отдельно фиксируются элементы Cr и Ti на границе 350-360 каналов, а пик Y в правой части спектра свидетельствует о его устойчивом присутствии, несмотря на его низкое содержание. Отсутствие заметного сигнала кислорода указывает на стабильность состава и отсутствие поверхностного окисления.

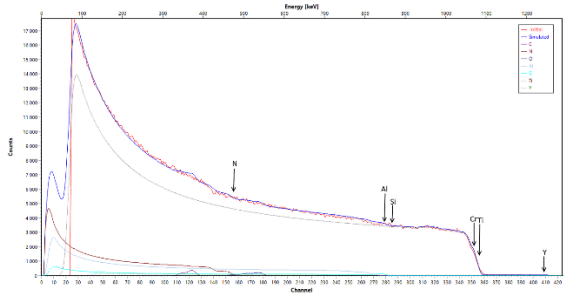


Рисунок 3 – RBS-спектр многослойного покрытия (TiAlSiY)N/CrN до ионной имплантации: сравнение экспериментальных данных с симуляцией и распределение основных элементов по глубине

После ионной имплантации ионами золота (60 кэВ, 1×10^{17} см$^{-2}$) в верхней части покрытия, на глубине до 20 нм, наблюдается формирование аморфных участков размером до 5 нм. Эти зоны характеризуются размытым контрастом, локальной потерей периодичности и отсутствием чёткой дифракционной картины в локальном FFT-анализе. Аморфизация вызвана воздействием каскадов смещений, инициированных ионными ударами, что приводит к перемешиванию границ между слоями (TiAlSiY)N и CrN. Размывание границ хорошо согласуется с данными SRIM-моделирования и SIMS-профилей, указывающих на перемещение атомов и частичную диффузию компонентов.

Кроме того, в зоне имплантации фиксируется увеличение плотности дислокаций – как винтовых, так и краевых, что проявляется в виде искривлённых межплоскостных расстояний и локальных искажений решётки. В отдельных областях наблюдаются пятна с высокой локальной деформацией и нарушением упорядоченности, что указывает на накопление радиационных дефектов. Эти особенности подтверждаются FFT-анализом: в отличие от чётких точек в исходном состоянии, после имплантации диаграммы становятся диффузными и не содержат выраженной зоновости, что указывает на снижение степени кристалличности.

Итак, совокупность TEM- и RBS-данных свидетельствует о существенном влиянии ионной имплантации на микроструктуру покрытия. Наблюдается частичная аморфизация, разрушение слоистой архитектуры в приповерхностной зоне, перераспределение компонентов и накопление дефектов, что в дальнейшем может существенно повлиять на физико-механические и функциональные свойства покрытия.

Для оценки распределения ионов и структурных изменений, вызванных ионной имплантацией, были проведены расчёты методом SRIM, а также экспериментальные исследования с использованием методов SIMS и RBS. SRIM-моделирование показало, что при энергии 60 кэВ ионы Au^- проникают в покрытие на среднюю глубину около 23,5 нм, что соответствует приблизительно 1,2-1,3 нанослоя многослойной структуры. Профиль пробега ионов указывает на максимум распределения золота вблизи границы между слоями (TiAlSiY)N и CrN, что делает эту зону наиболее уязвимой к радиационно-индуцированным модификациям.

Одной из особенностей, выявленных в ходе моделирования, является значительная разница в коэффициентах распыления между компонентами. Азот, обладая меньшей массой и более высокой вероятностью выбивания, демонстрирует в 3-4 раза более высокий коэффициент распыления по сравнению с титаном и алюминием. Это приводит к локальной нестехиометрии, селективной потере азота и развитию дефектных зон с повышенным уровнем вакансий, особенно в области межслойных границ.

Глубинные профили, полученные методом вторичной ионной масс-спектрометрии (SIMS), представлены на рисунке 4. Диаграмма (а), построенная в линейной шкале, отражает

относительное распределение основных элементов (C, N, O, Al, Si, Ti, Y) по глубине покрытия вплоть до 1000 нм. В верхней приповерхностной области наблюдается резкое изменение содержания углерода и кислорода, что указывает на возможное поверхностное загрязнение или процессы окисления. Азот достигает стабильной концентрации после первых 100-150 нм, при этом содержание Ti и Al сохраняется на относительно постоянном уровне по всей глубине покрытия. Элементы Si и Y демонстрируют низкое, но стабильное присутствие, без выраженных градиентов.

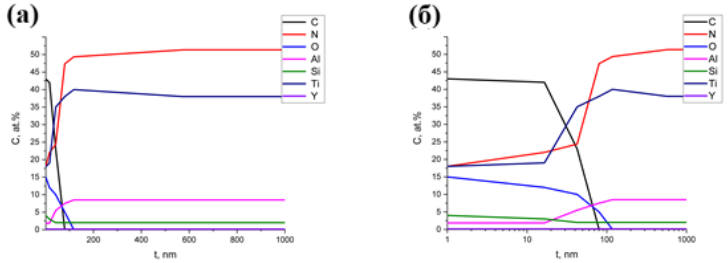


Рисунок 4 – Глубинные профили распределения концентраций элементов в покрытии (TiAlSiY)N/CrN, полученные методом SIMS:
(а) в линейной шкале; (б) в логарифмической шкале

В логарифмической шкале (рис. 4 (б)) визуализируется более детализированное поведение элементов вблизи поверхности. Чётко прослеживается рост концентрации азота и спад содержания углерода в пределах первых 10-30 нм, что подтверждает эффект распыления и селективной утраты элементов в зоне ионной имплантации. В этой же области наблюдается нарастание Ti и Al, что может быть связано с их перераспределением вследствие ионного перемешивания и каскадов смещений. Наличие неоднородностей в распределении Si и Y может свидетельствовать о локальной сегрегации, что также подтверждается TEM-исследованием. Присутствие кислорода в приповерхностной области может быть обусловлено пост-имплантационным взаимодействием с атмосферой.

Результаты анализа RBS, представленные ранее, демонстрируют хорошую корреляцию с данными SIMS, подтверждая наличие зон с пониженной плотностью и изменённым элементным составом вблизи поверхности. Это свидетельствует о комплексных радиационных изменениях, включающих аморфизацию, перемешивание границ слоёв и локальную модификацию фазового состава.

Таким образом, совокупность данных SRIM, SIMS и RBS позволяет охарактеризовать область ионной модификации как зону глубиной до 25-30 нм, в которой происходят основные структурные и фазовые превращения, вызванные воздействием ионов Au^-. Эти изменения критически важны для понимания механизмов радиационной устойчивости и для прогнозирования поведения покрытия в экстремальных условиях.

Заключение

Проведённое исследование продемонстрировало значительное влияние ионной имплантации ионами Au^- (E = 60 кэВ, флюенс 1×10^{17} ион/см²) на структурно-фазовое состояние многослойных покрытий (TiAlSiY)N/CrN. Комплексный анализ, включавший методы GIXRD, HRTEM, STEM, SIMS, RBS и SRIM-моделирование, позволил установить следующие ключевые эффекты.

По данным GIXRD, после имплантации наблюдается снижение интенсивности дифракционных максимумов и их уширение. Размер кристаллитов, рассчитанный по формуле Дебая–Шеррера, уменьшается с ~8 нм до ~4-5 нм, что свидетельствует о радиационно-индуцированной аморфизации приповерхностной зоны и фрагментации зерён.

HRTEM-исследование выявило образование аморфных областей размером до 5 нм в верхнем слое толщиной ~20 нм. Зафиксировано размытие границ между слоями (TiAlSiY)N и CrN, наличие дефектных дислокационных структур и нарушение периодичности кристаллической решётки. Исходная толщина слоёв составляла ~18 нм и ~13 нм соответственно.

Результаты SRIM-моделирования показали, что ионы Au^- проникают на глубину до ~23,5 нм, достигая максимума концентрации на границе между слоями, что совпадает с зоной наиболее интенсивных микроструктурных изменений.

Глубинные SIMS-профили подтвердили наличие ионов золота в приповерхностных слоях и неравномерное распределение элементов, в частности сегрегацию Si и Y. Зафиксировано уменьшение содержания азота в зоне имплантации, обусловленное его высоким коэффициентом распыления, превышающим аналогичные параметры для Ti и Al в 3-4 раза.

Анализ RBS выявил снижение плотности ионной упаковки в верхней части покрытия, что указывает на формирование дефектных зон и нарушение исходной периодичности структуры.

Таким образом, ионная имплантация вызывает совокупность эффектов – аморфизацию, дефектообразование, межслойное перемешивание и перераспределение компонентов, определяющих локальные изменения в структурной и фазовой организации покрытия. Полученные данные могут быть использованы при разработке наноструктурированных покрытий с повышенной радиационной и термохимической стойкостью для эксплуатации в условиях интенсивного ионного или нейтронного облучения.

Список литературы

1. Relationships between hardness, Young's modulus and elastic recovery in hard nanocomposite coatings / J. Musil et al // Surface and Coatings Technology. – 2002. – Vol. 154, № 2-3. – P. 304-313. https://doi.org/10.1016/S0257-8972(01)01714-5.
2. Microstructure and physical-mechanical properties of (TiAlSiY)N nanostructured coatings under different energy conditions / K.V. Smyrnova et al // Metals and Materials International. – 2018. – Vol. 24, № 5. – P. 1024-1035. https://doi.org/10.1007/s12540-018-0110-y.
3. The structure and properties of high-entropy alloys and nitride coatings based on them / A.D. Pogrebnjak et al // Russian Chemical Reviews. – 2014. – Vol. 83, № 11. – P. 1027-1061. https://doi.org/10.1070/RCR4407.
4. Influence of implantation of Au^--ions on the microstructure and mechanical properties of the nano-structured multielement (TiZrHfVNbTa)N coating / A.D. Pogrebnjak et al // Physics of the Solid State. – 2015. – Vol. 57, № 8. – P. 1559-1564. https://doi.org/10.1134/S1063783415080259.
5. Bolse W. Ion beam effects in thin films and nanostructures / W. Bolse // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. – 1994. – Vol. 91, № 1-4. – P. 68-75.
6. Effect of composition and growth mechanism on the structure and mechanical properties of nitride coatings – review / W. Zhao et al // Journal of Alloys and Compounds. – 2020. – Vol. 827. – Article 153836. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.153836.
7. Ziegler J.F. The stopping and range of ions in matter (SRIM) / J.F. Ziegler , J.P. Biersack, U. Littmark // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. – 2010. – Vol. 268, № 11-12. – P. 1818-1823. https://doi.org/10.1016/j.nimb.2010.02.091.
8. Littmark U. Ranges of energetic ions in matter / U. Littmark , J.F. Ziegler // Physical Review A. – 1981. – Vol. 23, № 1. – P. 64-74. https://doi.org/10.1103/PhysRevA.23.64.
9. Smilgies D.-M. Probing Functional Thin Films with Grazing Incidence X-Ray Scattering: The Power of Indexing / D.-M. Smilgies // Crystals. – 2025. – Vol. 15, № 1. – Article 63. https://doi.org/10.3390/cryst15010063.
10. Mahmood A. A review of grazing incidence small- and wide-angle X-ray scattering techniques for exploring the film morphology of organic solar cells / A. Mahmood , J.-L. Wang // Sol. RRL. – 2020. – Vol. 4. – Article 2000337. https://doi.org/10.1002/solr.202000337.
11. Harrington G.F. Back-to-Basics Tutorial: X-ray Diffraction of Thin Films / G.F. Harrington // Journal of Electroceramics. – 2021. – Vol. 47. – Article 108. https://doi.org/10.1007/s10832-021-00263-6.
12. How to GIWAXS: grazing incidence wide angle X-ray scattering applied to metal halide perovskite thin films / J.A. Steele et al // Advanced Energy Materials. – 2023. – Vol. 13, № 13. – Article 2300760. https://doi.org/10.1002/aenm.202300760.
13. Harrington G.F. Intensity corrections for grazing-incidence X-ray diffraction of thin films / G.F. Harrington // Journal of Applied Crystallography. – 2021. – Vol. 54.
14. Ziegler J.F. Universal scattering potential method for predicting ion ranges / J.F. Ziegler , J.P. Biersack , J.M. Manoyan // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. – 1986.

15. Smyrnova K.V. Ion-induced phase transformations in nanostructured nitride coatings / K.V. Smyrnova , A.D. Pogrebnjak , V.M. Beresnev // Vacuum. – 2017. – Vol. 146. – P. 47-54. – DOI: 10.1016/j.vacuum.2017.07.023
16. Kelly R., Miotello A. Effects of ion implantation on the phase stability of TiN/CrN multilayers // Applied Physics Letters. – 1993. – Vol. 63, № 12. – P. 1673–1675. https://doi.org/10.1063/1.109512.

Л.С. Баймолданова[*], А.Д. Погребняк[2], М.Б. Баяндинова[1], Р.Е. Сакенова[1]
[1]Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,
Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы, Крылов көшесі, 72
[2]Сумы мемлекеттік университеті,
Украина, Сумы облысы, Сумы, Римский-Корсаков көшесі, 2
[*]e-mail: baimoldals@gmail.com

АЛТЫН ИОНДАРЫМЕН ИМПЛАНТАЦИЯЛАҒАННАН КЕЙІНГІ (TiAlSiY)N/CrN НАНОҚАБАТТЫ ҚАПТАМАЛАРЫНДАҒЫ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ФАЗАЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕР

Бұл зерттеуде магнетронды бүрку әдісімен алынған көпқабатты (TiAlSiY)N/CrN қаптамаларының құрылымдық-фазалық күйіне алтын иондарымен (Au^-) 60 кэВ энергиямен және $1×10^{17}$ ион/см² флюенсімен иондық имплантация әсері зерттелді. Кешенді талдау жүргізу үшін grazing-инцидентгік рентгендік дифрактометрия (GIXRD), жоғары рұқсатты өткін электронды микроскопия (HRTEM), екінші реттік иондық масс-спектрометрия (SIMS), иондардың кері шашырауын талдау (RBS), сондай-ақ SRIM бағдарламасы бойынша иондардың енуін модельдеу әдістері қолданылды. Имплантация нәтижесінде қалыңдығы шамамен 20 нм болатын беттік қабаттың аморфталуы, кристаллит өлшемдерінің ~8 нм-ден 4–5 нм-ге дейін кішіреюі және қабатаралық шекаралардың бұлдырлануы байқалды. Азот атомдарының селективті шашырауы Ti және Al элементтеріне қарағанда 3-4 есе жоғары екендігі анықталды, бұл Si және Y сияқты легирлеуші элементтердің қайта таралуымен және жергілікті стехиометрияның бұзылуымен қатар жүрді. Модельдеу нәтижелері мен эксперименттік деректер бір-бірін растап, имплантация аймағындағы бастапқы кристалдық құрылымның едәуір бұзылатынын көрсетті. Алынған нәтижелер иондаушы сәулеленудің, термомеханикалық жүктемелердің және агрессивті орта жағдайында жұмыс істеуге арналған радиациялық төзімді, тозуға және жоғары температураға шыдамды қорғаныш қаптамаларын жобалауда қолдануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: *наноқабатты қаптамалар, TiAlSiY(N)/CrN, иондық имплантация, фазалық түрленулер, XRD, HRTEM, аморфталу, иондық араласу.*

L.S. Baimoldanova[*], A.D. Pogrebnyak[2], M.B. Bayandinova[1], R.E. Sakenova[1]*
[1]Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University,
Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Krylova Street, 72
[2]Sumy State University,
Ukraine, Sumy Region, Sumy, 2 Rimskogo-Korsakova Street
*e-mail: baimoldals@gmail.com

STRUCTURAL AND PHASE TRANSFORMATIONS IN (TiAlSiY)N/CrN NANOLAYERED COATINGS AFTER GOLD ION IMPLANTATION

This study investigates the effect of gold ion (Au^-) implantation with an energy of 60 keV and a fluence of $1×10^{17}$ ions/cm² on the structural and phase state of multilayer (TiAlSiY)N/CrN coatings deposited by magnetron sputtering. To perform a comprehensive analysis, grazing incidence X-ray diffraction (GIXRD), high-resolution transmission electron microscopy (HRTEM), secondary ion mass spectrometry (SIMS), Rutherford backscattering spectrometry (RBS), and SRIM simulation of ion range were employed. The ion implantation led to the amorphization of the near-surface layer (~20 nm thick), a reduction in crystallite size from ~8 nm to 4-5 nm, and blurring of the multilayer boundaries. A significantly higher sputtering yield of nitrogen – 3-4 times greater than that of Ti and Al – was identified, resulting in local non-stoichiometry and redistribution of alloying elements such as Si and Y. The modeling results and experimental data correlate well, revealing substantial degradation of the initial crystalline structure within the implantation zone. These findings may contribute to the development of radiation-resistant, wear-resistant, and thermally stable protective coatings designed for operation under high-energy irradiation, thermomechanical loads, and aggressive environments.

Key words: *nanolayered coatings, TiAlSiY(N)/CrN, ion implantation, phase transformations, XRD, HRTEM, amorphization, ion mixing.*

Авторлар туралы мәліметтер

Лазат Сарқытбекқызы Баймолданова* –«Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті» КЕАҚ, ЖҒжІТ ЖМ, физика және технологиялар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, PhD, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: baimoldals@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3533-242X.

Александр Дмитриевич Погребняк – доктор физико-математических наук, профес-сор Сумского государственного университета, г.Сумы Украина; e-mail: a.d.pogrebnjak@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9218-6492.

Молдир Болеухановна Баяндинова – «Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті» КЕАҚ, ЖҒжІТ ЖМ, физика және технологиялар кафедрасының сениор-лекторы, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: shohmanovamb@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6699-9097.

Римма Ерболатқызы Сакенова –«Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті» КЕАҚ, ЖҒжІТ ЖМ, физика және технологиялар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, PhD, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: sakenova_rimma@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6095-0129.

Сведения об авторах

Лазат Саркытбековна Баймолданова* – ассоциированный профессор кафедры физики и технологий НАО «Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова», PhD, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: baimoldals@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3533-242X.

Александр Дмитриевич Погребняк – доктор физико-математических наук, профессор Сумского государственного университета, г. Сумы Украина; e-mail: a.d.pogrebnjak@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9218-6492.

Молдир Болеухановна Баяндинова – сениор-лектор кафедры физики и технологий, НАО «Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова», г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: shohmanovamb@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6699-9097.

Римма Ерболатқызы Сакенова – ассоциированный профессор кафедры физики и технологий НАО «Восточно-Казахстанский университет имени Сарсе-на Аманжолова», PhD, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: sakenova_rimma@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6095-0129.

Information about the authors

Lazat Sarkytbekovna Baimoldanova* – Associate Profes-sor of the Department of Physics and Technology of the National Academy of Sciences «Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University», PhD, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: baimoldals@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3533-242X.

Alexander Dmitrievich Pogrebnyak – Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor of Sumy State University, Sumy, Ukraine; e-mail: a.d.pogrebnjak@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9218-6492.

Moldir Boleukhanovna Bayandinova – Senior Lecturer, Department of Physics and Technology, non-profit joint-stock company «Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University», Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: shohmanovamb@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6699-9097.

Rimma Yerbolatkyzy Sakenova – Associate Professor at the Department of Physics and Technology at Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, PhD, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: sakenova_rimma@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6095-0129.

Поступила в редакцию 18.07.2025
Поступила после доработки 09.09.2025
Принята к публикации 10.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-60

ҒТАХР: 32.61.11

BY 4.0
Check for updates

А.Д. Белгібаева*, Э.К. Нургазиева, Г.С. Калимулдина, А.А. Нурпейсова
National Laboratory Astana, Назарбаев Университеті,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қабанбай батыр даңғылы, 53
*e-mail: ayaulym.belgibayeva@nu.edu.kz

СИНТЕЗ ШАРТТАРЫНЫҢ ҚАЛАЙЫ ФОСФИД/ФОСФАТЫ НЕГІЗІНДЕГІ КӨМІРТЕКТІ КОМПОЗИТТІК НАНОТАЛШЫҚТАРДЫҢ КРИСТАЛДЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН МОРФОЛОГИЯСЫНА ӘСЕРІ

Аңдатпа: *Бұл зерттеуде қалайы фосфид/фосфаты негізіндегі көміртекті композиттік наноталшықтардың құрылымдық және морфологиялық өзгерістері синтез шарттарына байланысты зерттелді. Композиттер электроспиннинг және алдын-ала тотығу мен карбонизациядан екі сатылы термиялық өңдеу арқылы, этанол мен суда ерітілген поливинилпирролидон (ПВП), қалайы хлоридінің дигидраты ($SnCl_2 \cdot 2H_2O$) және фосфор қышқылы қоспасынан алынды. Термиялық өңдеу нәтижесінде алынған наноталшықтардың физика-химиялық қасиеттері рентгендік дифракция, сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) және CHNS элементтік талдауы арқылы зерттелді. $SnCl_2 \cdot 2H_2O$:ПВП массалық қатынасы, алдын-ала тотығу температурасы және күйдіру температурасы мен уақыты фазалық құрам мен наноталшықтардың морфологиясын анықтады. 900°C-та 10 мин бойы күйдірілген үлгілерде, ұзағырақ күйдірілген наноталшықтармен салыстырғанда, жоғары кристалдылық байқалып, SnP фазасының түзілуі және фосфордың булануы градиентті құрылымның қалыптасуына ықпал етті. СЭМ нәтижелері талшық диаметрінің $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ массалық үлесіне тәуелділігін көрсетті. Алдын-ала тотығу температурасының артуы көміртегінің тотығуына және аморфты құрылым түзілуіне әкелді. Осылайша, күйдіру шарттарын реттеу арқылы көміртекті композиттік наноталшықтардың құрылымдық қасиеттерін бақылауға болады. Бұл материалдар жоғары өнімділікке ие энергия сақтау жүйелері үшін перспективалы анодтық материалдар бола алады.*

Түйін сөздер: *нанокомпозит, қалайы фосфиді, наноталшықтар, электроспиннинг, термиялық өңдеу.*

Кіріспе

Энергия сақтау жүйелеріне арналған материалдар дамып келе жатқан технологиялар үшін маңызды бағыттардың бірі болып табылады [1]. Қазіргі таңда литий-иондық және натрий-иондық батареялардың тиімділігін арттыру мақсатында әртүрлі наноқұрылымды материалдар кеңінен зерттелуде [2]. Бұл материалдар жоғары сыйымдылық, ұзақ циклдік тұрақтылық және тиімді ион тасымалдау қабілетімен ерекшеленуі тиіс [3].

Қалайы (Sn) негізіндегі материалдар жоғары теориялық сыйымдылыққа ие, бұл оларды анод материалдары ретінде пайдалануға мүмкіндік береді [4]. Алайда, Sn негізіндегі материалдарда литий немесе натрий иондарының интеркаляциясы кезінде айтарлықтай көлемдік өзгерістер орын алып, механикалық тұрақсыздыққа және циклдік өнімділіктің төмендеуіне әкеледі [5]. Осы мәселелерді шешу үшін көміртекпен біріктірілген нанокомпозиттік құрылымдар әзірлеген жөн [6].

Наноталшықты құрылымдар, әсіресе көміртекті композиттік наноталшықтар, жоғары беттік ауданымен, өткізгіштігімен және механикалық беріктігімен танымал [7]. Олар электрод материалдары ретінде кеңінен зерттеліп, энергия сақтау жүйелеріндегі өнімділікті жақсартуға бағытталған көптеген зерттеулердің негізгі объектісіне айналып келеді [8-10]. Көміртекті композиттік наноталшықтардың құрамына қалайы фосфидтері мен фосфаттарын енгізу олардың электрохимиялық сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік береді [11, 12]. Фосфор негізіндегі қосылыстар литий және натрий иондарын тиімді қабылдай отырып, құрылымдық

өзгерістерді бірқалыпты бақылауға көмектеседі [13]. Бұл тәсіл батареялардың ұзақмерзімді тұрақтылығын арттыруға ықпал етеді.

Бұған дейінгі зерттеуімізде [14] қалайы фосфид/фосфаттары негізіндегі көміртекті композиттік наноталшықтардың құрылымдық және төмен температуралардағы электрохимиялық қасиеттерінің Sn:P молярлы қатынасына тәуелділігі зерттелді. Алайда, ол зерттеуде басқа синтез параметрлерінің, әсіресе тұрақтандыру температурасының және күйдіру уақытының материалдың құрылымдық және морфологиялық ерекшеліктеріне әсері толық зерделенбеді. Бұл зерттеуде қалайы фосфид/фосфаты негізіндегі көміртекті композиттік наноталшықтардың синтез шарттарына байланысты құрылымдық және морфологиялық өзгерістері қарастырылды.

Зерттеу әдістері

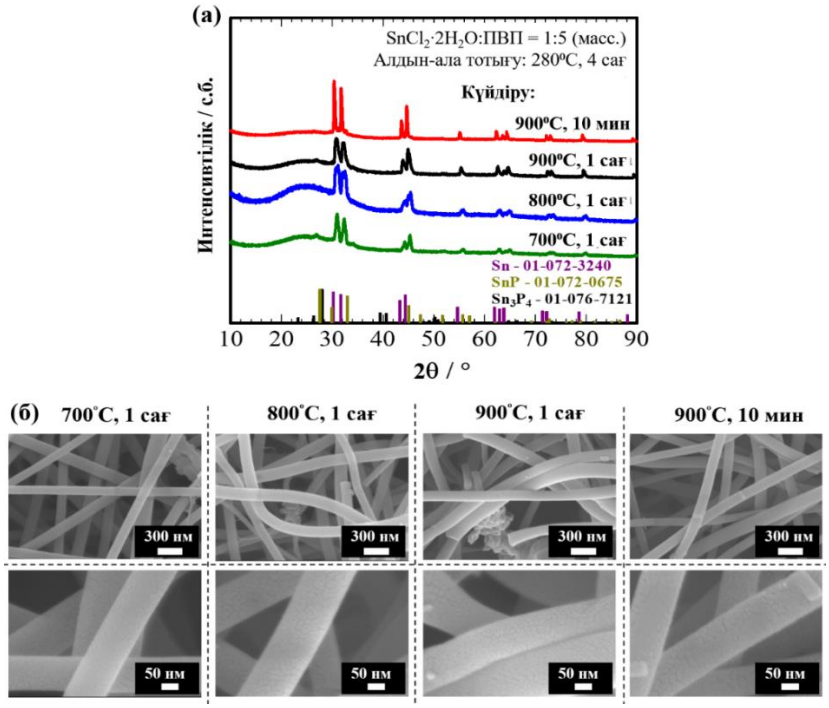
Зерттеу барысында поливинилпирролидон (ПВП), қалайы хлориді дигидраты ($SnCl_2{\cdot}2H_2O$) және фосфор қышқылы (H_3PO_4, 85%) қолданылды. 0,645 г ПВП 7,5 мЛ этанолда ерітіліп, 4,5 мЛ су:этанол = 2:1 қоспасындағы $SnCl_2{\cdot}2H_2O$ және H_3PO_4-пен араластырылды. Sn:P мольдік қатынасы 1:1 тұрақты сақталып, $SnCl_2{\cdot}2H_2O$:ПВП массалық қатынасы 1:5 және 2:5 етіп өзгертілді. Қоспа магнит араластырғышта 600 айн/мин жылдамдықта 15 сағ араластырылды. Дайын суспензия NE300 (Inovenso) құрылғысында 20-22 кВ кернеуде, 0,8 мЛ/сағ жылдамдықта, 100 айн/мин жылдамдықпен айналатын коллекторда, ине ұшынан 10 см қашықтықта электроспиннинг арқылы талшықтарға айналдырылды. Алынған үлгілер 150°C-та 12 сағ кептірілді, кейін 280°C, 360°C және 420°C-та 4 сағ ауада алдын-ала тотықтыру арқылы тұрақтандырылып, әрі қарай 700°C, 800°C және 900°C температураларда 1 сағат немесе 10 мин бойы аргон+сутегі (4%) атмосферасында термиялық өңдеуден өтті.

Дайын материалдардың құрылымы мен қасиеттері рентгендік дифракция (XRD, Miniflex және SmartLab, Rigaku) арқылы фазалық құрамын анықтау, сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ, Crossbeam 540, Zeiss) арқылы 5 кВ-те морфологияны зерттеу және CHNS элементтік анализі (CHNS-O, UNICUBE, Elementar) арқылы көміртек құрамын анықтау әдістерімен сипатталды. Электрохимиялық қасиеттер CR2032 үлгісіндегі ұяшықтарда литий металын қарсы/сілтеме электрод ретінде пайдаланып зерттелді. Дайындалған дербес талшықты маталар еш модификациясыз электрод ретінде қолданылды (1 см² массасы ~1 мг). Сепаратор ретінде Celgard@2400 полипропилен пленкасы, ал электролит ретінде этиленкарбонат, диметилкарбонат және диэтилкарбонат (1:1:1) қоспасындағы 1 M $LiPF_6$ ерітіндісі пайдаланылды. Жиналған элементтер 0 °C-та 0,01-2,8 В потенциал диапазонында 25 мА/г ток тығыздығында бір цикл белсендіріліп, әрі қарай 50 25 мА/г-да циклдендірілді. Ток тығыздығы композиттің жалпы массасы бойынша, ал сыйымдылық қалайы фосфид/фосфаты массасы бойынша есептелді.

Зерттеу нәтижелері және талқылау

Бұл зерттеуде қалайы фосфид/фосфаты негізіндегі көміртекті композиттік наноталшықтардың күйдіру шарттарына байланысты құрылымдық және морфологиялық өзгерістері қарастырылды. 1а-суретте әртүрлі күйдіру шарттарында алынған үлгілердің рентгендік дифракция нәтижелері көрсетілген. Зерттеу барысында $SnCl_2{\cdot}2H_2O$:ПВП массалық қатынасы 1:5 және алдын-ала тотығу температурасы 280°C тұрақты параметрлер ретінде алынды. Нәтижелерге сәйкес, үлгілердегі негізгі шыңдар металл қалайымен сәйкестендірілді, ал 20-30º аралығындағы кең шоқтар прекурсорлардың араласуы нәтижесінде түзілген тотықсызданбаған қалайы фосфаттары мен пирофосфаттарына ($Sn_xP_yO_z$) тиесілі болуы мүмкін. Сонымен қатар, 700°C және 900°C-та 1 сағ бойы күйдірілген үлгілерде SnP фазасына жататын әлсіз интенсивтілікке ие қосымша шыңдар байқалды. Бұл жоғары температурада метатұрақты қалайы фосфидтерінің түзілуіне, фосфордың булануы нәтижесінде градиентті құрылымның қалыптасуына, яғни орталық қабаттағы Sn_xP фазасының сыртында P-легирленген Sn қабатының түзілуіне байланысты болуы мүмкін [15]. Айта кететін жайт, 900°C-та 10 мин қана күйдірілген үлгінің дифракция шыңдарының интенсивтілігі ең жоғары, яғни кристалдық құрылымдығы да ең жоғары болып табылады. Басқа үлгілердегі дифракция интенсивтілігінің төмендеуі ұзақ қыздыру барысында қалайының буланып ұша бастауымен түсіндірілуі мүмкін. Бұл құрылымдық өзгерістерді тереңірек түсіну үшін, морфологиялық өзгерістерге де назар аудару қажет. 1б-суретте осы көміртекті композиттік наноталшықтардың морфологиялық өзгерістерін сипаттайтын СЭМ кескіндері ұсынылған. Барлық үлгілерде біртекті талшықты морфологияның түзілуі байқалады, талшық диаметрі шамамен 100 нм

құрайды. Алайда, күйдіру шарттары беттік морфологияға айтарлықтай әсер етпейтіні анықталды. 1-кестедегі мәліметтерге сүйене отырып, күйдіру температурасының артуы көміртегі мөлшерінің көбеюіне ықпал етсе де, күйдіру уақыты бұл көрсеткішке айтарлықтай әсер етпейтіні анықталды. Бұл жоғары температурада фосфор мен қалайы компоненттерінің буланып, жүйеден ұшып кетуімен түсіндіріледі.



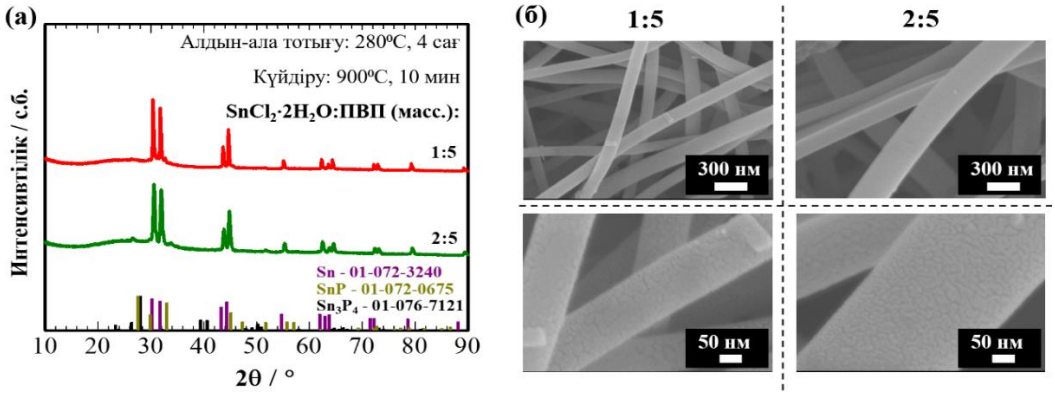
Сурет 1 – Әртүрлі күйдіру шарттарында алынған қалайы фосфид/фосфаты негізіндегі көміртекті композиттік наноталшықтардың рентгендік дифракция үлгілері (а) мен морфологиялық өзгерістерін сипаттайтын СЭМ кескіндері (б)

Көміртекті композиттік наноталшықтардың құрылымдық және морфологиялық қасиеттеріне қосымша фактор ретінде $SnCl_2{\cdot}2H_2O$:ПВП массалық қатынасының әсері де зерттелді. 2а-суретте әртүрлі массалық қатынастарда алынған үлгілердің рентгендік дифракциясы бейнеленген. Бұл жағдайда алдын-ала тотығу температурасы 280°C және күйдіру температурасы 900°C, уақыты 10 мин тұрақты етіп таңдалды. $SnCl_2{\cdot}2H_2O$ массасының артуы 27º маңайында орналасқан қалайы фосфидіне сәйкес келетін дифракциялық шыңның интенсивтілігінің жоғарылауына алып келді. Бұл өзгерістер морфологиялық сипаттамалармен де расталды. 2б-суретте осы үлгілердің СЭМ кескіндері көрсетілген. $SnCl_2{\cdot}2H_2O$ массасының екі есе артуы талшық диаметрінің де екі есеге жуық артуына ықпал етті. Сонымен қатар, бейорганикалық компоненттердің үлесі артқан сайын көміртегі мөлшері шамамен 15 масс.% төмендегені байқалды (1-кесте).

Күйдіру шарттарымен қатар, алдын-ала тотығу процесінің құрылымдық өзгерістерге әсері де маңызды фактор болып табылады.

Кесте 1 – Әртүрлі синтез шарттарында алынған көміртекті композиттік наноталшықтардың құрамындағы көміртегі мөлшері

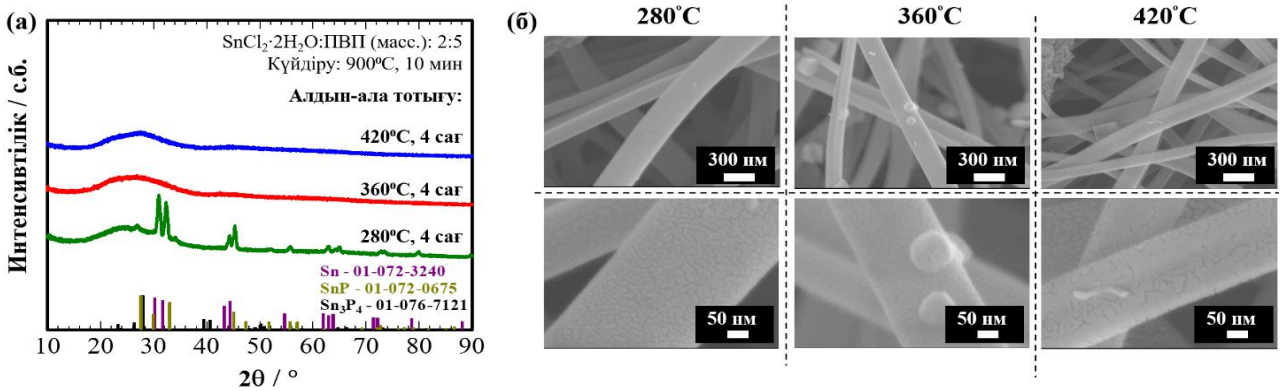
$SnCl_2{\cdot}2H_2O$:ПВП (масс. қатынасы)	Алдын-ала тотығу температурасы, уақыты	Күйдіру температурасы, уақыты	Көміртегі мөлшері
1:5	280 ˚C, 4 сағ	700 ˚C, 1 сағ	60.07 масс.%
1:5	280 ˚C, 4 сағ	800 ˚C, 1 сағ	68.16 масс.%
1:5	280 ˚C, 4 сағ	900 ˚C, 1 сағ	70.25 масс.%
1:5	280 ˚C, 4 сағ	900 ˚C, 10 мин	71.96 масс.%
2:5	280 ˚C, 4 сағ	900 ˚C, 10 мин	56.78 масс.%
2:5	360 ˚C, 4 сағ	900 ˚C, 10 мин	48.98 масс.%
2:5	420 ˚C, 4 сағ	900 ˚C, 10 мин	21.03 масс.%



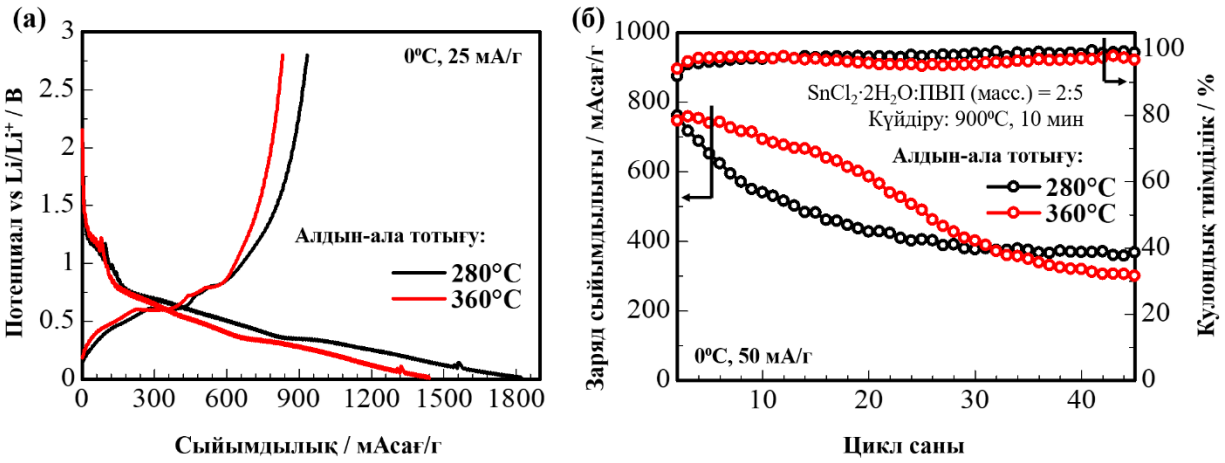
Сурет 2 – Әртүрлі $SnCl_2 \cdot 2H_2O$:ПВП массалық қатынасында алынған көміртекті композиттік наноталшықтардың рентгендік дифракциясы (а) мен морфологиялық өзгерістерін сипаттайтын СЭМ кескіндері (б)

3а-сурет әртүрлі алдын-ала тотығу температураларында алынған көміртекті композиттік наноталшықтардың рентгендік дифракциясын көрсетеді. Зерттеу барысында $SnCl_2 \cdot 2H_2O$:ПВП массалық қатынасы 2:5, күйдіру температурасы 900°C және уақыты 10 мин тұрақты етіп таңдалды. Алдын-ала тотығу температурасының жоғарылауы металл қалайының шыңдарының жоғалуына және аморфты құрылымның түзілуіне алып келді. Бұл өзгерістер морфологиялық сипаттамалар арқылы да айқын көрінеді. 3б-суретте осы үлгілердің СЭМ кескіндері бейнеленген. Температура артқан сайын талшық диаметрінің азайып, олардың бетінде нанобөлшектердің пайда болғаны байқалды. Ең жоғары температурада талшық қалыңдығы айтарлықтай төмендеп, құрылымдық өзгерістердің интенсивтілігі артты. Бұл көміртегінің айтарлықтай мөлшерінің жоғары температурада тотығып, ұшып кетуімен түсіндіріледі. 1-кестедегі деректерге сәйкес, 420°C-та тотықтырылған үлгідегі көміртегі мөлшерінің екі-үш есе төмендеуі осы үрдісті растайды. Алайда, көміртегі мөлшерінің күрт төмендеуі үлгінің механикалық қасиеттеріне кері әсерін тигізеді.

4а-суретте көрсетілгендей, 280°C және 360°C-та алдын-ала тотыққан үлгілердің 0 °C-тағы алғашқы заряд-разряд қисықтары ұқсас пішінде және бірдей потенциал аймағында өтеді, бұл литиймен жүретін реакция механизмдерінің ұқсастығын білдіреді. Сонымен қатар, 280°C үлгісінде қайтымды заряд сыйымдылығы сәл жоғары, бұл төмен температурада өңделген көміртекті құрылымның литий иондарын тиімдірек сақтауына байланысты болуы мүмкін. Циклдік өнімділік нәтижелері бойынша (4б-сурет), алғашқы 30 цикл ішінде 360°C үлгісі тұрақтырақ және жоғары сыйымдылық көрсеткенімен, кейінгі циклдарда оның сыйымдылығы күрт төмендеп, 45-циклге қарай 280°C үлгісінен төмен мәнге түсті. Бұл құбылыс жоғары температурада алдын-ала тотыққан үлгінің құрылымдық тұрақтылығының шектеулі екенін немесе белсенді фазаның деградацияға ұшырауын көрсетуі мүмкін. Айта кетерлік жайт, 420 °C-та тотыққан үлгі механикалық қасиеттерінің нашарлауына байланысты болса керек, тұрақты электрохимиялық белсенділік көрсетпеді.



Сурет 3 – Әртүрлі алдын-ала тотығу температурасында алынған көміртекті композиттік наноталшықтардың рентгендік дифракциясы (а) мен морфологиялық өзгерістерін сипаттайтын СЭМ кескіндері (б)



Сурет 4 – Әртүрлі алдын-ала тотығу температурасында алынған көміртекті композиттік наноталшықтардың разряд-заряд қисықтары (а) мен циклдік өнімділігі (б)

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері көміртекті композиттік наноталшықтардың құрылымы, морфологиясы және электрохимиялық қасиеттері күйдіру шарттарына айтарлықтай тәуелді екенін көрсетті. Күйдіру температурасы мен алдын-ала тотығу процесі фазалық құрам мен кристалдық құрылымды анықтайтын негізгі факторлар болып табылады: жоғары температурада өңдеу кристалдылықты арттырғанымен, Sn және P элементтерінің буланууына байланысты фазалық тұрақсыздық туындауы мүмкін. Алдын-ала тотығу температурасының артуы көміртегінің тотығуына және морфологиялық өзгерістерге алып келіп, ұзақмерзімді циклдерде материалдың тұрақтылығына кері әсер етеді. Электрохимиялық сынақтар көрсеткендей, төменгі температурада (280°C) өңделген үлгілер қайтымды заряд сыйымдылығы жағынан анағұрлым тиімді нәтиже көрсетіп, кейінгі циклдерде 360°C үлгісінен жоғарырақ көрсеткішке ие болды. Осылайша, термиялық өңдеу режимдерін оңтайландыру арқылы наноталшықтардың құрылымы мен литий-ионды сақтау қабілетін басқаруға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. One-dimensional mesoporous inorganic nanostructures and their applications in energy, sensor, catalysis and adsorption / H. Hou et al // Prog. Mater. Sci. – 2020. – Vol. 113. – P. 100671. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100671.
2. 1D carbon-based nanocomposites for electrochemical energy storage / C. Shi et al // Small. – 2019. – Vol. 15. – P. 1902348. https://doi.org/10.1002/SMLL.201902348.
3. Prospects in anode materials for sodium ion batteries – A review / T. Perveen et al // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2020. – Vol. 119. – P. 109549. https://doi.org/10.1016/J.RSER.2019.109549.
4. Tin-based anode materials with well-designed architectures for next-generation lithium-ion batteries / L. Liu et al // J. Power Sources. – 2016. – Vol. 321. – P. 11-35. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.04.105.
5. Porous nitrogen-doped Sn/C film as free-standing anodes for lithium ion batteries / M. Yang et al // Appl. Surf. Sci. – 2021. – Vol. 551. – P. 149246. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.149246.
6. Nano-Sn embedded in expanded graphite as anode for lithium ion batteries with improved low temperature electrochemical performance / Y. Yan et al // Electrochim. Acta. – 2016. – Vol. 187. – P. 186-192. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.11.015.
7. Electrospun nanofiber-based anodes, cathodes, and separators for advanced lithium-ion batteries / X. Zhang et al // Polym. Rev. – 2011. – Vol. 51, № 3. – P. 239-264. https://doi.org/10.1080/15583724.2011.593390.
8. Channelized carbon nanofiber with uniform-dispersed GeO_2 as anode for long-lifespan lithium-ion batteries / X. He et al // J. Alloys Compd. – 2017. – Vol. 729. – P. 313-322. https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2017.09.038.
9. Flexible and high-loading lithium–sulfur batteries enabled by integrated three-in-one fibrous membranes / J. Wang et al // Adv. Energy Mater. – 2019. – Vol. 9. – P. 201902001. https://doi.org/10.1002/AENM.201902001

10. Progress and potential of electrospinning-derived substrate-free and binder-free lithium-ion battery electrodes / B. Joshi et al // Chem. Eng. J. – 2022. – Vol. 430. – P. 132876. https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.132876.
11. Sn_4P_3@Porous carbon nanofiber as a self-supported anode for sodium-ion batteries / L. Ran et al // J. Power Sources. – 2020. – Vol. 461. – P. 228116. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228116.
12. Sn_4P_3–C nanospheres as high capacitive and ultra-stable anodes for sodium ion and lithium ion batteries / J. Choi et al // J. Mater. Chem. A. – 2018. – Vol. 6. – P. 17437-17443. https://doi.org/10.1039/C8TA05586F.
13. Electrospun nanofibers of tin phosphide ($SnP_{0.94}$) nanoparticles encapsulated in a carbon matrix: A tunable conversion-cum-alloying lithium storage anode / P. Yadav et al // Energy and Fuels. – 2020. – Vol. 34. – P. 7648-7657. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c01046.
14. Synthesis of free-standing tin phosphide/phosphate carbon composite nanofibers as anodes for lithium-ion batteries with improved low-temperature performance / A. Belgibayeva et al // Small. – 2023. – Vol. 2304062. – P. 1-10. https://doi.org/10.1002/smll.202304062.
15. Controlled synthesis of highly active nonstoichiometric tin phosphide/carbon composites for electrocatalysis and electrochemical energy storage applications / M. Chen et al // ACS Sustain. Chem. Eng. – 2022. – Vol. 10. – P. 1482-1498. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c06699.

Қаржыландыру: *Бұл зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары Білім Министрлігінің Ғылым Комитеті қаржыландырған BR21882402 «Жасыл экономика үшін материалдар мен энергия сақтау жүйелерінің жаңа технологияларын әзірлеу» ғылыми-зерттеу бағдарламасының аясында жүзеге асырылды.*

А.Д. Белгібаева*, Г.С. Калимулдина, Э.К. Нургазиева, А.А. Нурпейсова
National Laboratory Astana, Назарбаев Университет,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, пр-т. Кабанбай батыра, 53
*e-mail: ayaulym.belgibayeva@nu.edu.kz

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА КРИСТАЛЛИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ И МОРФОЛОГИЮ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТНЫХ НАНОВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ФОСФИД/ФОСФАТА ОЛОВА

В данном исследовании были изучены структурные и морфологические изменения углеродных композитных нановолокон на основе фосфид/фосфата олова в зависимости от условий синтеза. Композиты получены методом электроспиннинга и двухстадийной термической обработки, состоящей из пре-окисления и карбонизации, из смеси поливинилпирролидона (ПВП), дигидрата хлорида олова ($SnCl_2{\cdot}2H_2O$) и фосфорной кислоты в растворе этанол:H_2O. Физико-химические свойства полученных нановолокон были изучены с помощью рентгеновской дифракции, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и элементного анализа CHNS. Массовое соотношение $SnCl_2{\cdot}2H_2O$:ПВП, температура предварительного окисления и время отжига определяли фазовый состав и морфологию нановолокон. В образцах, прокаленных при 900°C в течение 10 мин, наблюдалась высокая кристалличность, образование фазы SnP и испарение фосфора, что способствовало формированию градиентной структуры. По результатам СЭМ было выявлено, что диаметр волокон зависит от массовой доли $SnCl_2{\cdot}2H_2O$. Повышение температуры предварительного окисления приводило к окислению углерода и образованию аморфной структуры. Таким образом, регулирование условий отжига позволяет контролировать структурные свойства углеродных композитных нановолокон. Эти материалы могут быть перспективными анодными материалами для энергонакопительных систем с высокой производительностью.

Ключевые слова: *нанокомпозит, фосфид олова, нановолокна, электроспиннинг, термообработка.*

A. Belgibayeva*, E. Nurgaziyeva, G. Kalimuldina, A. Nurpeissova
National Laboratory Astana, Nazarbayev University,
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Kabanbay batyr Ave. 53
*e-mail: ayaulym.belgibayeva@nu.edu.kz

EFFECT OF SYNTHESIS CONDITIONS ON THE CRYSTAL STRUCTURE AND MORPHOLOGY OF TIN PHOSPHIDE/PHOSPHATE-BASED CARBON COMPOSITE NANOFIBERS

In this study, the structural and morphological changes of carbon composite nanofibers based on tin phosphide/phosphate were investigated depending on the synthesis conditions. The composites were

obtained through electrospinning and two-step thermal treatment, comprised of pre-oxidation and carbonization, from a mixture of polyvinylpyrrolidone (PVP), tin chloride dihydrate ($SnCl_2 \cdot 2H_2O$), and phosphoric acid in ethanol: H_2O solution. The physical-chemical properties of the resultant nanofibers were studied by X-Ray diffraction, scanning electron microscopy (SEM), and CHNS elemental analyzer. The mass ratio of $SnCl_2 \cdot 2H_2O$:PVP, the pre-oxidation temperature, and the annealing time determined the phase composition and morphology of the nanofibers. Samples annealed at 900°C for 10 min exhibited high crystallinity, the formation of the SnP phase, and phosphorus evaporation, which contributed to the development of a gradient structure. SEM results showed that the fiber diameter depended on the mass fraction of $SnCl_2 \cdot 2H_2O$. An increase in the pre-oxidation temperature led to carbon oxidation and the formation of an amorphous structure. Thus, by adjusting the annealing conditions, the structural properties of carbon composite nanofibers can be controlled. These materials have the potential to serve as promising anode materials for high-performance energy storage systems.

Key words: *Nanocomposite, tin phosphide, nanofibers, electrospinning, thermal treatment.*

Авторлар туралы мәліметтер

Аяулым Дидарбекқызы Белгібаева* – Физикалық және химиялық ғылымдар саласындағы философия докторы, жетекші ғылыми қызметкер, National Laboratory Astana, Назарбаев Университеті; e-mail: ayaulym.belgibayeva@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3052-5241.

Эльмира Кудайбергеновна Нургазиева – Химия ғылымы саласындағы философия докторы, аға ғылыми қызметкер, National Laboratory Astana, Назарбаев Университеті; e-mail: elmira.nurgaziyeva@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8673-4977.

Гульнур Сериковна Калимулдина – Химиялық инжинерия саласындағы философия докторы, National Laboratory Astana, Назарбаев Университеті; e-mail: gkalimuldina@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9185-3217.

Арайлым Ахметбекқызы Нурпейсова – Энергетика ғылымдары және технологиялар саласындағы философия докторы, доцент, жетекші ғылыми қызметкер, National Laboratory Astana, Назарбаев Университеті; e-mail: arailym.nurpeissova@email.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9657-2964.

Сведения об авторах

Аяулым Дидарбеккызы Белгибаева*– доктор философии в области физических и химических наук, ведущий научный сотрудник, National Laboratory Astana, Назарбаев Университет; e-mail: ayaulym.belgibayeva@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3052-5241.

Эльмира Кудайбергеновна Нургазиева – Доктор философии в области химических наук, старший научный сотрудник, National Laboratory Astana, Назарбаев Университет; e-mail: elmira.nurgaziyeva@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8673-4977.

Гульнур Сериковна Калимулдина – Доктор философии в области химической инжинерии, National Laboratory Astana, Назарбаев Университет; e-mail: gkalimuldina@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9185-3217.

Арайлым Ахметбекқызы Нурпейсова – Доктор философии в области энергетических наук и технологий, доцент, ведущий научный сотрудник, National Laboratory Astana, Назарбаев Университет; e-mail: arailym.nurpeissova@email.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9657-2964.

Information about the authors

Ayaulym Belgibayeva* – Doctor of Engineering in Chemical Science and Engineering, Leading Researcher, National Laboratory Astana, Nazarbayev University; e-mail: ayaulym.belgibayeva@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3052-5241.

Elmira Nurgaziyeva – PhD in Chemistry, Senior Researcher, National Laboratory Astana, Nazarbayev University; e-mail: elmira.nurgaziyeva@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8673-4977

Gulnur Kalimuldina – Doctor of Engineering in Chemical Engineering, title, position, National Laboratory Astana, Nazarbayev University; e-mail: gkalimuldina@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9185-3217.

Arailym Nurpeissova – Doctor in Energy Sciences and Technologies, Associate Professor, Leading Researcher, National Laboratory Astana, Nazarbayev University; e-mail: arailym.nurpeissova@email.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9657-2964.

Редакцияға енуі 04.04.2025
Өңдеуден кейін түсуі 23.05.2025
Жариялауға қабылданды 24.05.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-61

ҒТАХР: 61.31.57; 70.25.17

BY 4.0
Check for updates

Р.А. Аубакирова[1], Н.В. Серая[2], Г.К. Даумова[2]*, Ш.К. Саньязова[1]
[1]С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,
070010, Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы, Қазақстан көшесі, 55
[2]Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
070010, Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы, Серікбаев көшесі, 19
*e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru

ТАЙЖУЗГЕН КЕН ОРНЫНЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІРІЛГЕН ЦЕОЛИТІНІҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: *Жұмыста ӨМК «Қазмырыш» ЖШС металлургиялық кәсіпорнының ағынды суларын мыс (II), мырыш (II) және қорғасын (II) сияқты металл иондарынан тазарту зерттелді. Тайжүзген кен орнының (Шығыс Қазақстан) механикалық белсендірілген табиғи цеолитінің көмегімен металл иондарынан ағынды суларды тазарту мүмкіндігі негізделген. Цеолиттің фракциялық құрамына байланысты оның адсорбциялық қабілеті зерттелді. Сорбенттерді модификациялаудың тиімді әдісі - механикалық белсендіру көрсетілген. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері бойынша табиғи цеолит негізінде алынған механикалық белсендірілген сорбент металлургиялық кәсіпорындардың көп компонентті ағынды суларын терең тазарту үшін келешегі зор болып табылатыны анықталды. Цеолиттің сорбциялық белсенділігі сорбенттің механикалық белсендіру дәрежесіне тікелей байланысты екендігі анықталды. Өнеркәсіптік ағынды суларды Cu^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+} иондарынан (сәйкесінше 53,85%, 88,52% және 92,11%) тазартудың ең үлкен дәрежесіне механикалық белсендірілген сорбенттің ағынды сумен 3 сағаттық байланысы (оңтайлы ірілік 50-100 мкм өлшемінде) және (1-2) г:100 $см^3$ қатынасы арқылы қол жеткізіледі. Мыс (II), мырыш (II) және қорғасын (II) иондарының адсорбциялық изотермалары алғаш рет Тайжүзген кен орнының механикалық белсендірілген цеолитінде Ленгмюр және Фрейндлих модельдеріне сәйкес салынған.*

Түйін сөздер: *ағынды сулар, металл иондары, сорбция, цеолит, механикалық белсендіру, изотерма.*

Кіріспе

Құрамында ауыр металдары бар ағынды сулар қоршаған орта үшін ең қауіпті болып саналады. Мұндай тазартылмаған немесе жеткіліксіз тазартылған суларды су бассейндеріне төгу су айдындарының экожүйесіне теріс әсер етеді. Ағынды суларды тазарту Шығыс Қазақстан облысы (ШҚО) үшін де өзекті, оның тарихи ластануы металлургия өнеркәсібінен туындаған судың сапасына үлкен әсер етеді. Ағынды суларды тазартудың дәстүрлі әдістері ағынды суларды металл иондарынан терең тазартуға мүмкіндік бермейді, өйткені олардың қалдық мөлшері ШРК нормасынан 10 немесе одан да көп есе асады. Ағынды суларды ауыр металлдардан тазарту әдістерінің ішінде сорбциялық әдістер ең тиімді болып табылады. Сорбциялық тазартудың тиімділігі сорбенттің химиялық сипатына, оның құрылымына және сорбциялық бетінің мөлшеріне байланысты. Ауыр металдарды тазарту үшін ең көп таралған сорбциялық материалдар жасанды сорбенттер, белсендірілген көмір, синтетикалық цеолит, саз минералдары [1-3] болып келеді. Синтетикалық және көміртекті сорбенттердің кең қолданылуын шектейтін бірқатар кемшіліктері бар екенін атап өткен жөн. Кемшіліктерге жоғары шығындар, сондай-ақ шектеулі көлемдер жатады.

Соңғы кездері суды ауыр металл иондарынан тазарту үшін табиғи сорбент ретінде сорбциялық сыйымдылығы жеткілікті жоғары, катион алмасу қасиеттері, салыстырмалы түрде төмен құны және қол жетімділігі бар, әсіресе кен орындары өнеркәсіптік кәсіпорындарға жақын болған жағдайларда табиғи цеолиттер қолданылуда [4]. Жоғарыда аталған сипаттамалардың арқасында пайдалы қасиеттері құрылымның ерекшеліктерімен және бірегей ион алмасу қабілетімен анықталатын цеолиттер [5] бейорганикалық және органикалық қоспалардан [6] суды тазарту үшін тиімді қолданылады.

Табиғи күйдегі сорбенттердің көпшілігі көптеген сыртқы факторларға айтарлықтай тәуелді төмен сорбциялық қабілеттерге ие. Сондықтан оны қолданар алдында бастапқы шикізатты модификациялау қажеттілігі туындайды.

Соңғы онжылдықтарда табиғи цеолиттердің беткі қабатын ұлғайту немесе олардың белгілі бір затқа немесе заттар тобына селективтілігін анықтау мақсатында оларды өзгерту бойынша көптеген зерттеулер жүргізілді. Табиғи цеолиттерді белсендірудің жиі қолданылатын әдістері бір немесе аралас термиялық немесе химиялық модификацияны қамтиды [7].

Мысалы, зерттеушілер [8] әртүрлі өңдеу әдістерінің табиғи цеолиттерге (Түркия), соның ішінде ион алмасуға, қышқылды шаймалауға, термиялық және бумен өңдеуге әсерін зерттеген болатын. Цеолиттер ион алмасуымен (0,5M NH4NO3 көмегімен) және қышқылды шаймалау (1M HCl) арқылы өзгертілді. Деалюминация мен декатионизацияны тудыратын, сондай-ақ кристалдық құрылымның жоғалуына, фазалардың күйежентектелуіне және аморфты материалдың түзілуіне әкелетін бу мен қышқылды өңдеу ерекше маңызды болды.

Қазақстандық зерттеушілер [9] Шанқанай кен орнындағы цеолиттердің ауыр металдарға қатысты адсорбциялық қабілетін зерттеп, оның термиялық белсендіруден кейін айтарлықтай өскенін анықтады. Оңтайлы белсендіру температурасы 2 сағат бойы ұсталған кезде 550 °C болды. 550 °C дейін қыздырылған кезде адсорбция никель үшін 87%, мыс пен кадмий үшін 99% және қорғасын үшін 100% құрады, ал 500 °C температурада бұл көрсеткіштер сәйкесінше 78, 98, 83 және 88 % болды. Сонымен қатар, термиялық өңдеу арқылы цеолиттерді белсендіру экономикалық тұрғыдан тиімсіз және қымбат болып келеді.

Зерттеулер көрсеткендей, табиғи цеолиттерді қышқылдармен, негіздермен немесе тұздармен өңдеу олардың катиондарды адсорбциялау қабілетін және ауыр металдарды әкету тиімділігін арттырады [10]. Алайда, бұл реагенттерді шамадан тыс қолдану адсорбциялық қабілетінің төмендеуіне әкелетін цеолиттердің кристалдылығына теріс әсер етуі мүмкін.

Тұз қышқылы цеолиттерді белсендіру үшін ең көп қолданылатындардың бірі екені белгілі. Мысалы, келесі зерттеуде [11] Сокирницкий кен орнынан (Закарпатия облысы, Украина) құрамында шамамен 75% клиноптилолит бар табиғи цеолитті тұз қышқылымен (2M HCl) өңдеу бетінің 13 $м^2$/г-ден 78 $м^2$/г-ға дейін едәуір ұлғаюына әкелгені анықталды.

Келесі жұмыста [12] 3 сағат ішінде 70 °C температурада 15% күкірт қышқылын қолдана отырып, Сангареди бокситтерінен (Гвинея Республикасы) цеолитті белсендірудің оңтайлы шарттары зерттелді. Белсендірілген үлгілерді қышқылмен өңдеу меншікті беттің ұлғаюына (орта есеппен 72-130,25 $м^2$/г дейін) және кеуектілікке (0,07%-0,3% дейін) әкелетіні анықталды.

Басқа жұмыста [13] Чили цеолитін NaCl, NaOH, Na_2CO_3 және NH_4Cl активаторларымен белсендіру оның табиғи цеолитпен салыстырғанда сулы ерітінділерден марганец иондарын адсорбциялау қабілетін арттырғаны көрсетілген.

Отандық зерттеушілер [14] табиғи цеолиттерді лимон қышқылымен 100 °C температурада 30 минут бойы (1:(1-2) компоненттерінің қатынасында), содан кейін глицидилметакрилатпен (25-33 мас. %) 1 сағат ішінде, және соңында 3-4 сағат ішінде 100-140 °C температурада термиялық өңдеу арқылы модификацияланады. Бұл әдістің басты кемшілігі - модификациялау үшін қымбат реагенттерді қолдану. Сондай-ақ, модификация үшін қолданылатын химиялық реагенттер қайталама ластануды тудыратынын атап өтуге болады.

Келесі зерттеушілер [15] табиғи сорбенттердің сорбциялық сипаттамаларын механикалық белсендіру арқылы арттыруға болатынын анықтаған болатын, бұл кристалдық тордың ішінара бұзылуы және сорбенттің меншікті бетінің дамуы арқылы қамтамасыз етіледі.

Жаңа сорбенттерді әзірлеу олардың тиімділігін арттыру және механикалық қасиеттерін жақсарту қажеттілігіне байланысты. Материалдардың белсенділігін арттыруға арнайы агрегаттарда диспергация және ұнтақтау нәтижесінде қол жеткізіледі. Ұнтақтау фазалық өзгерістерге және кристалдардың аморфталуына әкеліп, химиялық белсенділікке әсер етеді.

Осыған байланысты жүргізілген зерттеу ШҚО Тайжүзген кен орнының цеолиттері негізінде жаңа тиімді сорбентті синтездеуге арналған. Ағынды суларды тазарту саласындағы зерттеу әлемдік экологиялық жағдай мәселелерін шешуде басым міндет болып табылады. Оның өзектілігі антропогендік әсерді азайтуға мүмкіндік беретін жаңа, тиімді және келешегі зор әдістерді зерттеу мен әзірлеу болып табылады. Бұл жұмыста ӨМК "Қазмырыш" ЖШС мысалында металлургиялық кәсіпорынның ағынды суларының ауыр металл иондарынан тазарту үшін табиғи механикалық белсендірілген цеолиттер зерттелді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Жұмыста сорбциялық қасиеттерін зерттеу үшін ШҚО Тайжүзген кен орнының цеолиті пайдаланылды. Механикалық белсендірілген сорбент алу үшін эксперименттік зерттеулер жүргізілмес бұрын цеолит алдымен +1 мм ұсақтаудан өтіп, содан кейін ұнтақтағышта қосымша өңделді. Алынған полидисперсті қоспаны -50, 50-100, 100-500, +500 мкм фракциялары бөліп,

жеке қойды. Экспериментте -50, 50-100, 100-500 мкм фракциялары қолданылды. Сорбциялық процестерді зерттеу модельдік ерітінділермен қатар, ӨМК "Қазмырыш" ЖШС металлургиялық кәсіпорнының ағынды суларымен де жүргізілді.

Модельдік металл ерітінділерінің концентрациясы 0,1-ден 20 мг/дм^3 аралығында алынды. Барлық зерттелетін ерітінділерді өңдеу статикалық режимде жүргізілді. Цеолиттің шығыны 0,5; 1; 100 см^3 модельдік ерітіндіге 2 г сорбентті құрады. Құрамында ауыр металл иондары бар ерітіндінің табиғи сорбентпен жанасу уақыты 30 минуттан 24 сағатқа дейін болды. Түзілген қойыртпақ тұндырылды, содан кейін қатты фазадан сұйықты центрофугирлау арқылы бөлінді. Ерітіндідегі металл иондарының құрамындағы өзгерістерді бақылау бүкіл үдеріс барысында жүзеге асырылды. Металл иондарының концентрациясын өлшеу үшін флуориметриялық және атомдық-абсорбциялық талдау әдістері қолданылды.

Бұл жұмыста цеолиттің сорбциялық қасиеттерін зерттеу үшін мыс (II), мырыш және қорғасын (II) иондары таңдалды. Бұл таңдау Шығыс Қазақстан облысының кен орындарын игеруге және полиметалл кендерін өндіруге байланысты болып келеді. Ағынды су сынамаларын алу әдістемеге [16] сәйкес ӨМК "Қазмырыш" ЖШС өнеркәсіптік алаңына іргелес ағынды су айдындарында жүргізілді. Су сынамалары көсіп алу арқылы алынып, 4 ^{0}С дейін салқындатылды, содан кейін азот қышқылымен (3 см^3 HNO_3 1 дм^3 суға) pH 2 дейін сақталды.

Жасалған эксперименттік тәжірибелер бойынша тазалау дәрежесі келесі (1) өрнек арқылы есептелінді:

$$\alpha = \frac{C_o - C}{C_o} \cdot 100,\% \quad (1)$$

мұнда, C_o – ерітіндідіегі компоненттің бастапқы мөлшері, мг/дм^3;

С – ерітіндідіегі компоненттің қалдық концентрациясы, мг/дм^3.

Металл сорбциясының изотермаларын құру үшін сорбция мөлшері (Г) келесі формула (2) арқылы анықталды:

$$\Gamma = \frac{(C_{\text{алғ}} - C_{\text{т-т}}) \cdot V}{m} \quad (2)$$

мұнда, $C_{\text{алғ}}$ -ерітіндідегі металдың бастапқы концентрациясы, ммоль/дм^3; $C_{\text{т-т}}$ - ерітіндідегі металдың тепе-теңдік концентрациясы, ммоль/дм^3; V - ерітіндінің көлемі, дм^3; m - сорбенттің массасы, г.

Модельдік ерітінділердегі металл иондарының бастапқы және тепе-теңдік концентрациялары (моль/дм^3) ерітінділердің концентрациясынан (мг/дм^3) келесі формула (3) арқылы есептелді:

$$C = \frac{m(\text{мг})}{M \cdot V(\text{л})} \quad (3)$$

Мономолекулалық адсорбция изотермасы Лэнгмюр теңдеуі (4) арқылы сипатталып, анықталынды:

$$\Gamma = \Gamma_{max} \cdot \frac{K_L \cdot C}{(1 + K_L \cdot C)} \quad (4)$$

Аталған модельдің көмегімен сорбатпен белсенді әрекеттесетін сорбент молекуласындағы сорбциялық орталықтардың санын сипаттайтын Γ_{max} коэффициентін, сондай-ақ белгілі бір сорбент пен сорбат арасындағы жақындық дәрежесін көрсететін K_L параметрі есептелді. Γ_{max} және K_L сандық мәндерін алу үшін Лэнгмюр (5) теңдеуі келесі түрде қолданылды:

$$\frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_{max}} + \frac{1}{K_L \cdot \Gamma_{max} \cdot C} \quad (5)$$

Сорбент пен сорбат арасындағы химиялық байланыстардың беріктігі мен түзілу жылдамдығын талдау үшін еріген заттардың адсорбциясының концентрацияға (орташа концентрация аймағында) тәуелділігі Фрейндлихтің эмпирикалық теңдеуімен (6) сипатталды:

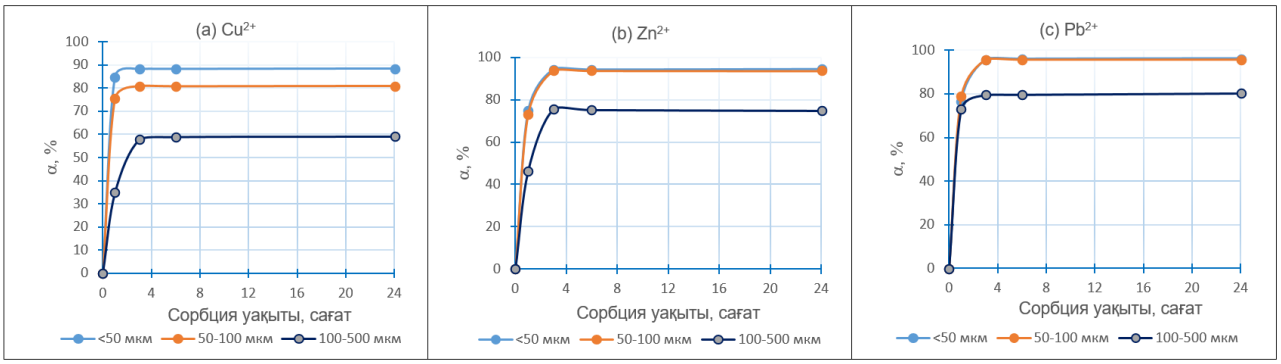
$$\Gamma = K_F \cdot C^{1/n} \quad (6)$$

Адсорбцияның болжамды есептеулерін жүргізу үшін логарифмдік формада Фрейндлихтің эмпирикалық теңдеуі (7) қолданылды:

$$ln\Gamma = ln\text{К}_F + (1/n) \cdot lnC \quad (7)$$

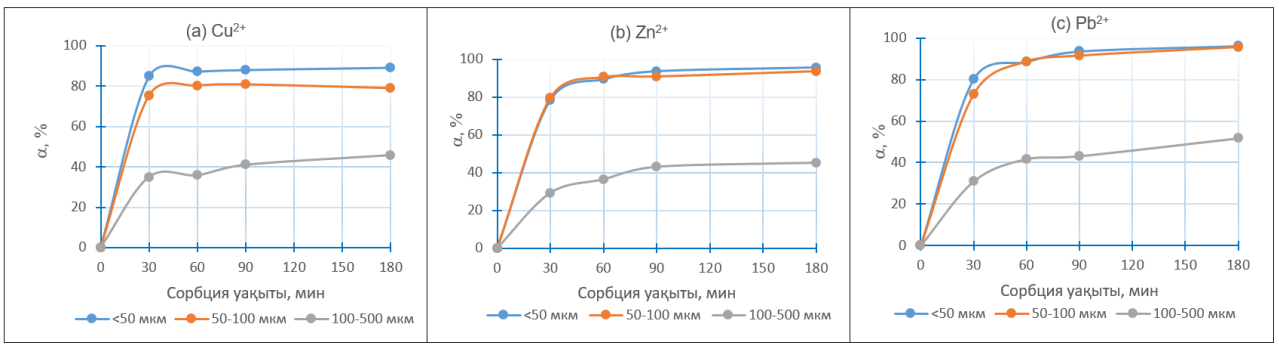
Зерттеу нәтижелері және талқылау

Тазалау дәрежесінің әртүрлі дисперстік құрамдағы сорбентпен сорбция уақытына тәуелділігін зерттеу үшін құрамы 5 мг/дм^3 концентрациялы мыс (II), мырыш және қорғасын (II) иондарынан тұратын 100 см^3 модельді ерітінділер дайындалды. Тәжірибелер <50, 50-100 және 100-500 мкм диапазонындағы ұнтақтау өлшемдерімен әзірленген механикалық белсендірілген сорбент – цеолитпен жүргізілді. Модельдік ерітінділерді металл иондарынан тазалау үшін массасы 1 г сорбент қолданылды. Ерітіндінің сорбентпен байланыс уақыты 1-24 сағатты құрады. Алынған эксперименттік мәліметтер негізінде металл иондарынан тазалау дәрежесінің ерітінді мен сорбент арасындағы байланыс уақытына графикалық тәуелділігі құрылды (1-сурет). Нәтижелер модельдік ерітінділердегі зерттелетін металл иондарымен цеолиттің әрекеттесуінің алғашқы 3 сағатында сорбция белсенді түрде өтетінін көрсетті. Бұл жағдайда сорбциялық тепе-теңдікке жетудің максималды уақыты – 3 сағат. Сонымен қатар, сорбенттің механикалық белсендіру дәрежесі модельдік ерітінділерден металл иондарының негізгі тазалануы жүретін сорбция уақытына әсер етпейтіні анықталынды. Сондықтан кейінгі зерттеулер үшін ерітінділер мен сорбенттің байланыс уақытын 3 сағатқа дейін, атап айтқанда 30, 60, 90 және 180 минутқа дейін пайдалану туралы шешім қабылданды.



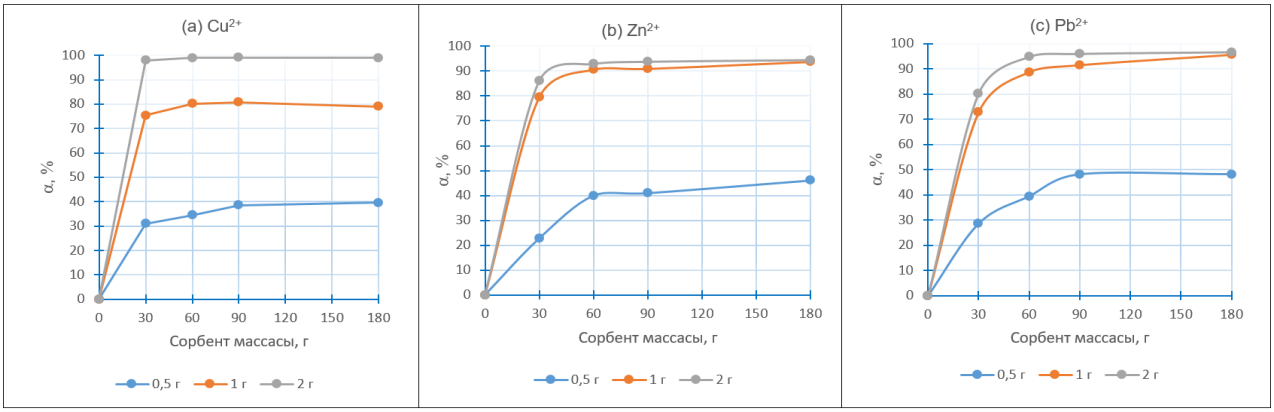
Сурет 1 – Дисперстілігі әртүрлі механикалық белсендірілген сорбентпен металл иондарынан тазалау дәрежесінің сорбция уақытына тәуелділігі

Алынған нәтижелер механикалық белсендірудің цеолиттің сорбциялық белсенділік дәрежесіне айтарлықтай әсерін көрсетті (1-сурет). 2-суретте келтірілген графиктегі тәуелділік негізінде ең кіші фракциясы бар ұнтақтың (<50 мкм) ерітіндіден металл иондарын тазалаудың ең жоғары көрсеткіштерін көрсететіні анықталды. Дегенмен, бұл үлгіні пайдалану сұйық фазаны қатты (коллоидты) фазадан бөлуде қиындықтарды тудырып, тазалау үдерісінің құнын арттыруы мүмкін. Сондай-ақ, ерітіндіден дисперстілігі 100-500 мкм цеолитпен металл иондарынан тазалау дәрежесі екі кіші фракцияға қарағанда едәуір төмен болатыны анықталғаннан кейін, одан әрі зерттеулерден алынып тасталды. Дисперстіліктері d<50 мкм және d=50-100 мкм цеолиттермен металдарды тазалау дәрежесі айтарлықтай ерекшеленбейтіндігін ескере отырып, одан әрі зерттеу үшін оңтайлы құрам ретінде дисперстілігі 50-100 мкм сорбент қалдырылды.



Сурет 2 – Металл иондарынан тазалау дәрежесінің цеолиттің механикалық белсендіру деңгейіне тәуелділігі

Металл иондарынан тазалау дәрежесінің механикалық белсендірілген сорбент массасына тәуелділігін зерттеу үшін құрамында 5 мг/дм^3 концентрациялы мыс (II), мырыш және қорғасын (II) иондары, сондай-ақ 50-100 мкм цеолит бар модельдік ерітінділер пайдаланылды (3-сурет). Цеолиттің массасы 0,5, 1 және 2 г құрады. Ерітіндінің сорбентпен байланыс уақыты 30-180 минут аралығында болды.



Сурет 3 – Металл иондарынан тазалау дәрежесінің сорбенттің массасына тәуелділігі

Жүргізілген эксперименттердің нәтижелері механикалық белсендірілген цеолитті қолдану кезінде мыс (II), мырыш (II) және қорғасын (II) иондарынан тазалау дәрежесі сорбенттің массасына айтарлықтай байланысты екенін көрсетті. Cu^{2+} үшін 99,1%, Zn^{2+} үшін 94,4% және Pb^{2+} үшін 96,7% құраған ең жоғары тазалау дәрежелері 100 см^3 ерітіндіге 2 г сорбентті қолдану кезінде қол жеткізілді. Алайда, бұл тәсіл материалдың артық шығынына, қатты фазаның едәуір көлемінің түзілуіне және фазаларды бөлу сатысының күрделенуіне алып келеді.

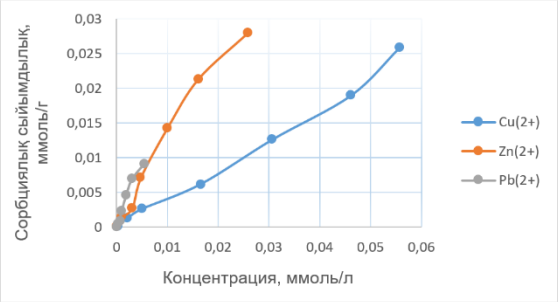
Сорбентті ұтымды пайдалану мақсатында 100 см^3 ерітіндіге 1 г цеолит қолдану оңтайлы доза ретінде негізделіп таңдалды. Бұл массада Cu^{2+} үшін 80,86%, Zn^{2+} үшін 93,76% және Pb^{2+} үшін 95,7% құрайтын сорбцияның жоғары тазалау дәрежесіне қол жеткізілді. Бұл пайдалану шығындары мен қалдықтардың қайталама түзілуін азайту кезінде ағынды суларды тиімді тазартуға мүмкіндік береді. Осылайша, 1 г/100 см^3 мөлшері үдерістің тиімділігі мен оны тәжірибе жүзінде іске асыру арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті қамтамасыз ете отырып, бұл оны әрі қарай өндірістік ауқымда қолдануға лайық етеді.

Материалдың сорбциялық қасиеттері және ондағы белгілі бір заттардың адсорбция сипаты туралы негізгі тәуелділіктерді адсорбция изотермаларынан алуға болады. Бұл изотермалар сорбциялық қабілеттің сұйық фаза үшін тұрақты температурада сорбцияланатын компоненттің концентрациясына тәуелділігін сипаттайды. Бұл тәуелділіктерді зерттеу адсорбция механизмдерін жақсы түсінуге және сорбенттердің тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

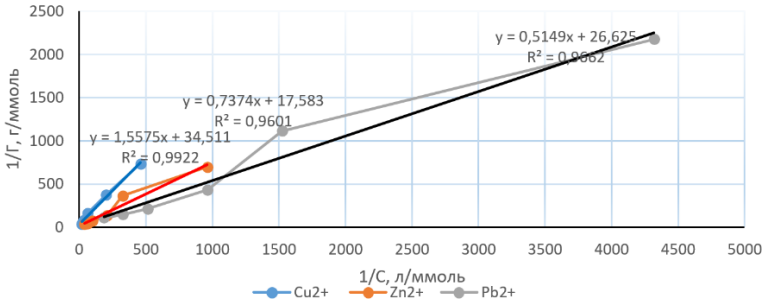
Мыс (II), мырыш және қорғасын (II) иондарының сорбция изотермаларын құру мақсатында концентрациялары 0,1; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 мг/дм^3 құрайтын модельдік ерітінділердің үш сериясы дайындалды. Металл иондарының концентрациясы төмен ерітінділер бастапқы ерітінділерді сұйылту арқылы дайындалды. Тәжірибелер дисперстілігі 50-100 мкм, массасы 1 г механикалық белсендірілген цеолитпен жүргізілді. Құрамында металл иондары бар ерітіндінің сорбентпен жанасу уақыты 180 минутты құрады. Алынған эксперименттік мәліметтер негізінде сорбциялық сыйымдылықты анықтау есептеулері жүргізілді, сонымен қатар мыс (II), мырыш және қорғасын (II) иондарының адсорбция изотермаларының графикалық тәуелділіктері салынды (4-сурет).

Лэнгмюрдің сорбция моделі белсенді байланыс орталықтарының шектеулі саны бар сорбенттің бір қабатты біртекті құрылымындағы заттардың сорбция процестерін сипаттайды.

1/Г–f(1/C) координаттарында Лэнгмюр изотермалары түзу сызықтар түрінде сипатталды, мұнда көлбеу бұрышының тангенсі - $1/\Gamma_{max} \cdot K_L$, ал ординатта кесілген сегменттер $1/\Gamma_{max}$ тең болды. Жүргізілген өлшеулер нәтижелері бойынша Лэнгмюр моделі арқылы механикалық белсендірілген цеолитпен металл иондарының сорбциясының сызықтық изотермалары салынды (5-сурет).



Сурет 4 – Сорбция изотермалары



Сурет 5 – Лэнгмюр моделі арқылы механикалық белсендірілген цеолитпен металл иондарының сорбция изотермаларын сызықтандыру

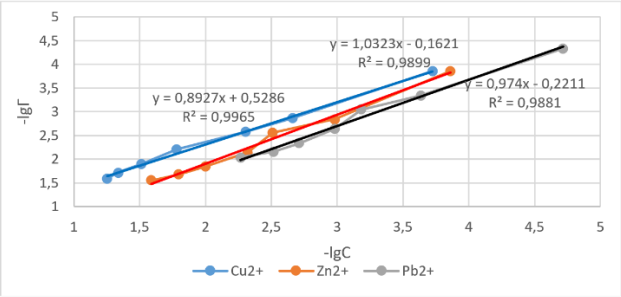
Лэнгмюр моделін сызықтандыру адсорбенттің адсорбат молекулаларымен толық мономолекулалық жабынына сәйкес келетін $Г_{max}$ адсорбциясының шекті мәндерін анықтауға мүмкіндік берді. Графикалық есептеу әдісін қолдана отырып, Лэнгмюр теңдеуінің коэффициенттері анықталды (1-кесте).

Кесте 1 – Лэнгмюр изотермасы теңдеулерінің эксперименттік параметрлері

Металл иондары	tg a	K_L	$1/Г_{max}$	$Г_{max}$
Cu^{2+}	1,5357	19,55	30,02	0,0333
Zn^{2+}	0,7280	7,73	5,63	0,1777
Pb^{2+}	0,5002	54,28	27,15	0,0368

Лэнгмюр сорбциясы изотермаларының графиктеріне сәйкес, изотермалардың бастапқы учаскелерінде сорбциялану мәні ерітіндідегі иондардың концентрациясына пропорционалды деп қорытынды жасауға болады. Бұл ерітіндідегі төмен концентрацияда мөлшерлік сорбция пайда болатындығын көрсетеді. Ерітіндідегі иондардың жоғары концентрациясында сорбция изотермалары барған сайын тегіс болады және көлденең асимптотаға шығады, бұл адсорбенттің қанығуына қол жеткізгенге дейін сорбция тиімділігінің жоғарылағанын көрсетеді. $Г_{max}$ коэффициенті сорбат молекулаларымен белсенді әрекеттесуге қабілетті сорбент молекуласындағы сорбция орталықтарының максималды мөлшерін сипаттайды. K_L коэффициенті өзара әрекеттесу күшін сипаттайтын белгілі бір сорбент пен сорбат арасындағы жақындық дәрежесін көрсетеді. K_L жоғары мәндері әдетте күшті өзара әрекеттесуді және сорбенттің сорбатты байланыстыру қабілетін білдіреді.

Белсенді орталықтардың белгісіз мөлшері бар бір қабатты гетерогенді сорбенттегі сорбция процестерін сипаттау үшін Фрейндлих моделі қолданылады. Оның ерекшелігі-байланыстырушы агенттің бірлігіне шаққандағы белсенді орталықтардың санын дәл анықтай алмау, бұл орталықтардың біркелкі емес таралуын және өзара әрекеттесудің күрделілігін ескеруге мүмкіндік береді. Модель төмен концентрациядағы адсорбцияны сипаттауға арналған. Алынған эксперименттік мәліметтер негізінде механикалық белсендірілген цеолитпен металдардың сорбциясының сызықтық изотермасы салынды. Ол үшін Фрейндлих моделі қолданылды (6-сурет) және графикалық әдіс арқылы Фрейндлихтің тұрақты теңдеулері есептелді. Бұл мәліметтер сорбция үдерісі сипатын тереңірек түсінуге және сорбент пен сорбаттың өзара әрекеттесу тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді (2-кесте).



Сурет 6 – Фрейндлих моделі арқылы механикалық белсендірілген цеолитпен металл иондарының сорбция изотермаларын сызықтандыру

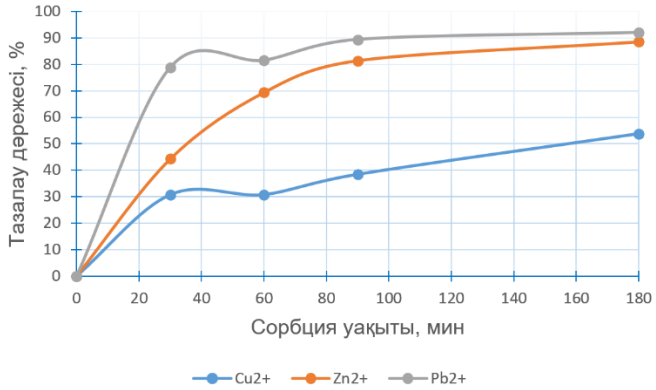
Кесте 2 – **Фрейндлих изотермасы теңдеулерінің эксперименттік параметрлері**

Металл иондары	tg a=1/n	n	lg K_F	K_F
Cu^{2+}	0,844	1,19	0,361	2,30
Zn^{2+}	0,989	1,01	0,820	6,61
Pb^{2+}	0,663	1,51	1,230	16,98

Фрейндлих теңдеуіндегі K_F шамасы сорбцияланған ионның сорбент бетіне жақындығының сандық өлшемі болып табылады: жоғары мәндер күшті өзара әрекеттесуді және адсорбция тиімділігін көрсетеді. 2-кестеде мыс (II), мырыш және қорғасын (II) иондары үшін K_F константасының есептік мәндері берілген. Нәтижелер қорғасын (II) иондарының мырыш пен мыс (II) иондарымен салыстырғанда цеолитке жақындығын растайды. K_F шамасының мәндеріне сүйене отырып, металл иондарының цеолит бетіне жақындық дәрежесінің жоғарылауын көрсететін келесі қатар алынды: $Cu^{2+}<Zn^{2+}<Pb^{2+}$. Фрейндлих изотермасы теңдеуіндегі n тұрақтысы сорбция қарқындылығын көрсетеді. Нәтижелерді талдау n =1,51 ең үлкен мәні қорғасын (II) иондарына сәйкес келетінін көрсетті, яғни бұл берілген ион үшін ең жоғары сорбция қарқындылығын көрсетеді.

Модельді су ерітінділерінен мыс (Cu^{2+}), мырыш (Zn^{2+}) және қорғасын (Pb^{2+}) иондарын сорбциялау бойынша жүргізілген алдын-ала зерттеулер нәтижесінде өндірістік ағын суларды тазартуға арналған оңтайлы шарттар анықталды. Ең жақсы нәтижелер сорбенттің 1 г массасы және механикалық белсендірілген цеолит бөлшектерінің өлшемі 50–100 мкм аралығында болғанда анықталынды. Барлық эксперименттер статикалық жағдайда, мерзім сайын араластырумен жүргізілді, бұл фазалар арасындағы біркелкі байланысты қамтамасыз етіп, тепе-теңдік жағдайларына жақындатуға мүмкіндік береді. Механикалық белсендірілген сорбентпен ауыр металл иондарынан (Cu^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}) тазалау дәрежесіне жүргізілген салыстырмалы талдау сорбциялық қасиеттердің едәуір айырмашылығын көрсетті. Ең жоғары тазалау тиімділігі қорғасын ионы (Pb^{2+}) үшін тіркелді: оның тазалау дәрежесі 30 минут ішінде 78,95%-ға жетіп, 180 минутта 92,11%-ға дейін артты. Мырыш иондары (Zn^{2+}) да аталған уақыт аралығында 44,26%-дан 88,52%-ға дейін жоғары тазалау дәрежесін көрсетті. Ал мыс иондары (Cu^{2+}) 180 минут ішінде 30,77%-дан 53,85%-ға дейінгі ең төменгі сорбциялық тазалау дәрежесімен сипатталды. Бұл нәтижелер сорбциялық материалдың Pb^{2+} және Zn^{2+} иондарына селективтілігін көрсетеді, яғни бұл оны ағынды суларды тазарту үшін тиімді етеді. Қорғасын ионынан тазалау дәрежесі жоғары болуы оның кешен түзу қабілетімен және сорбенттің белсенді орталықтарымен күшті әрекеттесу қабілетімен байланысты болуы мүмкін. Кинетикалық қисықтардың сипаты, әсіресе алғашқы 90 минутта жылдам қанығу процесі, сорбциялық учаскелердің жоғары қолжетімділігін және сорбентті ағынды сулардың жүйелерінде қолдану мүмкіндігін көрсетеді.

Механикалық белсендірілген және белсендірілмеген цеолиттердегі сорбция дәрежесінің салыстырмалы мәндері механикалық белсендірілген цеолиттердің ұқсас сорбция көрсеткіштерін көрсетуге бейім екенін көрсетеді. Дегенмен, металл иондарымен жақсартылған өзара әрекеттесу арқылы механикалық белсендірілген цеолиттер аз шығынымен қатар тиімді тазалау дәрежесін қамтамасыз ете алады (3-кесте).



Сурет 7 – Ағынды сулардан металл иондарын механикалық белсендірілген цеолитпен тазалау дәрежесінің кинетикасы

Кесте 3 – Белсендірілген және белсендірілмеген цеолитпен металл иондарының сорбциясы тиімділігінің салыстырмалы талдауы

Металл ионы	Механикалық белсендірілген цеолит		Белсендірілмеген цеолит [17]	
	Тазалану дәрежесі, α_{max}, %	1 м³ көлемге шығын, кг	Тазалану дәрежесі, α_{max}, %	1 м³ көлемге шығын, кг
Cu^{2+}	53,85	10	≈ 80	100-200
Zn^{2+}	88,52		≈ 90	
Pb^{2+}	92,11		80-90	

Қорытынды

Статикалық жағдайларда мыс (II), мырыш және қорғасын (II) иондарын сорбциялау бойынша жүргізілген зерттеулердің нәтижелері Тайжузген кен орнының механикалық белсендірілген табиғи цеолитін өнеркәсіптік кәсіпорындардың ағынды суларын тазарту үшін қолжетімді сорбент ретінде ұсынуға мүмкіндік береді. Механикалық белсендірілген цеолитті қолдана отырып, модельдік ерітінділер мен ағынды суларды тазарту үшін жүргізілген зертханалық зерттеулердің нәтижелері бойынша келесі негізгі тұжырымдар жасалынды:

1) Цеолиттің сорбциялық белсенділігі сорбенттің механикалық белсендіру дәрежесіне айтарлықтай байланысты болып келеді. Ең жақсы нәтижелерге қол жеткізу үшін сорбенттің оңтайлы дисперстілік өлшемі 50–100 мкм аралығында болуы қажет екені анықталынды.

2) Механикалық белсендірілген цеолитті қолдану ағынды сулардан ауыр металл иондарын тиімді түрде тазртуға мүмкіндік береді. Сорбция уақыты 180 минут болғанда ең жоғары тазалау дәрежесі келесі деңгейге жетті: Pb^{2+} – 92,11%, Zn^{2+} – 88,52%, Cu^{2+} – 53,85%. Қорғасын мен мырыштың сорбциялық тиімділігі сорбенттің осы катиондарға жоғары селективтілігін көрсетті.

3) Зерттелген иондар ішінде сорбентке ең жоғары бейімділік және сәйкесінше ең жоғары тазалау дәрежесі қорғасын (II) иондарына тән болды.

4) «Ерітінді – механикалық белсендірілген цеолит» жүйесінде сорбциялық тепе-теңдікке қол жеткізудің оңтайлы уақыты – 180 минут. Бұл Cu^{2+}, Zn^{2+} және Pb^{2+} иондарынан тазалау дәрежесі 3 сағаттық байланыстан кейін тұрақтанатынын көрсететін кинетикалық қисықтардың сипатымен расталады. Бұл негізгі сорбциялық үдерістің аяқталғанын және жүйеде тепе-теңдік орнағанын білдіреді.

5) Механикалық белсендірілген цеолит жоғары сорбциялық сыйымдылықпен және адсорбция жылдамдығымен сипатталады, бұл қажетті сорбент мөлшерін азайтып, қалдықтардың түзілу көлемін қысқартады және үдерістің экономикалық әрі экологиялық тиімділігін арттырады.

Осылайша, жүргізілген зерттеулердің нәтижелері Тайжүзген кен орнының механикалық белсендірілген цеолитінің су ерітінділерінен ауыр металл иондарын тазалаудағы тиімділігін растайды және оны экономикалық тұрғыдан қолжетімді әрі экологиялық тұрғыдан қауіпсіз сорбент ретінде қолдануға негіз болады. Сонымен қатар, өндірістік ағынды суларды тазарту жағдайында бұл технологияны табысты жүзеге асыру үшін сорбциялық үдеріске әсер ететін қосымша технологиялық және химиялық факторларды ескеру қажет. Осыған байланысты

технологияны өнеркәсіптік жағдайларға бейімдеу, сорбентті алдын ала өңдеу шарттарын оңтайландыру және ауқымды пайдаланудың келешегін бағалау өзекті мәселеге айналады.

Механикалық белсендірілген цеолитті нақты ағынды суларды тазартуда қолдану оның сорбциялық тиімділігін төмендететін бірқатар факторлармен байланысты. Атап айтқанда, бәсекелес иондардың (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}) болуы, органикалық заттардың, қалқымалы бөлшектердің кездесуі, сондай-ақ pH деңгейінің ауытқуы ауыр металл иондарының адсорбциясына айтарлықтай әсер етуі мүмкін.

Цеолит сорбентін өнеркәсіптік ауқымда тиімді қолдану мен ықтимал кедергілерді азайту үшін келесі инженерлік шешімдер тізбегі ұсынылады:

- ағынды сулардың физикалық-химиялық құрамын алдын ала талдау (pH, иондар концентрациясы, органикалық заттар мен қалқымалы бөлшектердің мөлшері);
- ірі дисперсті және коллоидты қоспалардан коагуляция, флотация немесе сүзу әдістерімен тазалау;
- нақты ағынды сулар құрамын модельдейтін жағдайларда цеолиттің сорбциялық сыйымдылығын анықтайтын зертханалық сынақтар өткізу;
- pH деңгейін тазаланатын ауыр металл иондары үшін оңтайлы диапазонға келтіру;
- сорбция үдерісін қамтитын көпсатылы тазарту сұлбасын енгізу.

Жоғарыда келтірілген стратегия технологияны нақты пайдалану жағдайларына бейімдеуді қамтамасыз етеді, ауыр металл иондарын тазалау тиімділігін арттырады және механикалық белсендірілген цеолитті әртүрлі мақсаттағы су тазарту жүйелерінде кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Adsorption of Heavy Metals: Mechanisms, Kinetics, and Applications of Various Adsorbents in Wastewater Remediation-A Review / Z. Raji et al // Waste. – 2023. – № 1. – P. 775-805. https://doi.org/10.3390/waste1030046.
2. Senila M. Modification of natural zeolites and their applications for heavy metal removal from polluted environments: Challenges, recent advances, and perspectives / M. Senila, O. Cadar // Heliyon. – 2024. – № 10(3). – P. e25303. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25303.
3. Application of clay minerals as adsorbents for removing heavy metals from the environment / Sh. Xiea et al // Green and Smart Mining Engineering. – 2024. – № 1(3). – P. 249-261. https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.07.002.
4. Ugwu E.I. A review on zeolites as cost-effective adsorbents for removal of heavy metals from aqueous environment / E.I. Ugwu, A. Othmani, C.C. Nnaji // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2022. – № 19. – P. 8061-8084. https://doi.org/10.1007/s13762-021-03560-3.
5. Rodríguez-Iznaga I. Ion Exchange in Natural Clinoptilolite: Aspects Related to Its Structure and Applications / I. Rodríguez-Iznaga, M.G. Shelyapina, V. Petranovskii // Minerals. – 2022. – № 12. – P. 1628. https://doi.org/10.3390/min12121628.
6. Tasić Ž.Z. Application of natural zeolite in wastewater treatment-A review / Ž.Z. Tasić, G.D. Bogdanović, M.M. Antonijević // Journal of Mining and Metallurgy. – 2019. – № 55A (1). – P. 67-79. https://doi.org/10.5937/JMMA1901067T.
7. Kordala N. Zeolite Properties, Methods of Synthesis, and Selected Applications / N. Kordala, M. Wyszkowski // Molecules. – 2024. – № 29. – P. 1069. https://doi.org/10.3390/molecules29051069.
8. Ates A. The effect of various treatment conditions on natural zeolites: ion exchange, acidic, thermal and steam treatments / A. Ates, C. Hardacre // Journal of Colloid and Interface Science. – 2012. – № 372. – P. 130-140. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.01.017.
9. Modifying Natural Zeolites to Improve Heavy Metal Adsorption / E. Kuldeyev et al // Water. – 2023. – № 15. – P. 2215. https://doi.org/10.3390/w15122215.
10. Adsorption of heavy metals on natural zeolites: a review / L. Velarde et al // Chemosphere. – 2023. – № 328. – P. 138508. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138508.
11. Study of the selection mechanism of heavy metal (Pb^{2+}, Cu^{2+}, Ni^{2+}, and Cd^{2+}) adsorption on clinoptilolite / M. Sprynskyy et al // Journal of Colloid and Interface Science. – 2006. – № 304(1). – P. 21-28. https://doi.org/10.1016/J. JCIS.2006.07.068.

12. Characterization of Zeolite Types Contained in Sangaredi Bauxite in the Republic of Guinea / M. Sylla et al // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. – 2024. – № 12. – P.1-14. https://doi.org/10.4236/msce.2024.1211001.
13. Taffarel S.R. On the removal of Mn^{2+} ions by adsorption onto natural and activated Chilean zeolites / S.R. Taffarel, J. Rubio // Minerals Engineering. – 2009. – № 22(4). – P. 336-343. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2008.09.007.
14. Патент KZ (13) A (11) 14907 51) 7 C01B 39/00 Способ модификации природных неорганических сорбентов / Ергожин Е.Е., Акимбаева А.М., Бектенов Н.А., Джусипбеков У.Ж., Каппар Б.К., Габдулина Ю.Р., Базилбаев С.М., Садвокасова А.Б., опубл. 15.10.2004.
15. Yerbolov S. Waste Water Purification from Metal Ions by Ultra-Dispersed Natural Sorbents / S. Yerbolov , G. Daumova // Journal of Ecological Engineering. – 2022. – № 23(1). – P. 43-50. https://doi.org/10.12911/22998993/143867.
16. РД Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши, под ред. А.Д. Семенова. Л., Гидрометеоиздат, 1977 – 345 с.
17. Хумарбекулы Е. Исследование сорбции ионов тяжелых металлов сорбентами на основе модифицированных природных цеолитов из промышленных сточных вод // маг. диссертация, Казахский Национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, 2022. – 60 с.

References

1. Adsorption of Heavy Metals: Mechanisms, Kinetics, and Applications of Various Adsorbents in Wastewater Remediation-A Review / Z. Raji et al // Waste. – 2023. – № 1. – R. 775-805. https://doi.org/10.3390/waste1030046. (In English).
2. Senila M. Modification of natural zeolites and their applications for heavy metal removal from polluted environments: Challenges, recent advances, and perspectives / M. Senila, O. Cadar // Heliyon. – 2024. – № 10(3). – R. e25303. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25303. (In English).
3. Application of clay minerals as adsorbents for removing heavy metals from the environment / Sh. Xiea et al // Green and Smart Mining Engineering. – 2024. – № 1(3). – R. 249-261. https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.07.002. (In English).
4. Ugwu E.I. A review on zeolites as cost-effective adsorbents for removal of heavy metals from aqueous environment / E.I. Ugwu, A. Othmani, C.C. Nnaji // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2022. – № 19. – R. 8061-8084. https://doi.org/10.1007/s13762-021-03560-3. (In English).
5. Rodríguez-Iznaga I. Ion Exchange in Natural Clinoptilolite: Aspects Related to Its Structure and Applications / I. Rodríguez-Iznaga, M.G. Shelyapina, V. Petranovskii // Minerals. – 2022. – № 12. – R. 1628. https://doi.org/10.3390/min12121628. (In English).
6. Tasić Ž.Z. Application of natural zeolite in wastewater treatment-A review / Ž.Z. Tasić, G.D. Bogdanović, M.M. Antonijević // Journal of Mining and Metallurgy. – 2019. – № 55A (1). – R. 67-79. https://doi.org/10.5937/JMMA1901067T. (In English).
7. Kordala N. Zeolite Properties, Methods of Synthesis, and Selected Applications / N. Kordala, M. Wyszkowski // Molecules. – 2024. – № 29. – R. 1069. https://doi.org/10.3390/molecules29051069. (In English).
8. Ates A. The effect of various treatment conditions on natural zeolites: ion exchange, acidic, thermal and steam treatments / A. Ates, C. Hardacre // Journal of Colloid and Interface Science. – 2012. – № 372. – R. 130-140. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.01.017. (In English).
9. Modifying Natural Zeolites to Improve Heavy Metal Adsorption / E. Kuldeyev et al // Water. – 2023. – № 15. – R. 2215. https://doi.org/10.3390/w15122215. (In English).
10. Adsorption of heavy metals on natural zeolites: a review / L. Velarde et al // Chemosphere. – 2023. – № 328. – R. 138508. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138508. (In English).
11. Study of the selection mechanism of heavy metal (Pb2+, Cu2+, Ni2+, and Cd2+) adsorption on clinoptilolite / M. Sprynskyy et al // Journal of Colloid and Interface Science. – 2006. – № 304(1). – R. 21-28. https://doi.org/10.1016/J. JCIS.2006.07.068. (In English).
12. Characterization of Zeolite Types Contained in Sangaredi Bauxite in the Republic of Guinea / M. Sylla et al // Journal of Materials Science and Chemical Engineering. – 2024. – № 12. – R.1-14. https://doi.org/10.4236/msce.2024.1211001. (In English).

13. Taffarel S.R. On the removal of Mn2+ ions by adsorption onto natural and activated Chilean zeolites / S.R. Taffarel, J. Rubio // Minerals Engineering. – 2009. – № 22(4). – R. 336-343. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2008.09.007. (In English).
14. Patent KZ (13) A (11) 14907 51) 7 C01B 39/00 Sposob modifikatsii prirodnykh neorganicheskikh sorbentov / Ergozhin E.E., Akimbaeva A.M., Bektenov N.A., Dzhusipbekov U.ZH., Kappar B.K., Gabdulina YU.R., Bazilbaev S.M., Sadvokasova A.B., opubl. 15.10.2004. (In Russian).
15. Yerbolov S. Waste Water Purification from Metal Ions by Ultra-Dispersed Natural Sorbents / S. Yerbolov , G. Daumova // Journal of Ecological Engineering. – 2022. – № 23(1). – R. 43-50. https://doi.org/10.12911/22998993/143867. (In English).
16. RD Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi, pod red. A.D. Semenova. L., Gidrometeoizdat, 1977 – 345 s. (In Russian).
17. Khumarbekuly E. Issledovanie sorbtsii ionov tyazhelykh metallov sorbentami na osnove modifitsirovannykh prirodnykh tseolitov iz promyshlennykh stochnykh vod // mag. dissertatsiya, Kazakhskii Natsional'nyi issledovatel'skii tekhnicheskii universitet imeni K.I. Satpaeva, 2022. – 60 s. (In Russian).

Р.А. Аубакирова[1], Н.В. Серая[2], Г.К. Даумова[2]*, Ш.К. Саньязова[1]
[1]Восточно-Казахстанский университет имени С.Аманжолова,
070010, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Казахстан, 55
[2]Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева,
070010, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19
*e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО ЦЕОЛИТА ТАЙЖУЗГЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В работе исследуется очистка сточных вод металлургического предприятия УК МК ТОО «Казцинк» от ионов металлов, таких как медь (II), цинк и свинец (II). Обоснована возможность очистки сточных вод от ионов металлов с помощью механоактивированного природного цеолита Тайжузгенского месторождения (Восточный Казахстан). Изучена адсорбционная способность цеолита в зависимости от его фракционного состава. Показан эффективный метод модификации сорбентов - механическая активация. По результатам экспериментальных исследований установлено, что полученный механоактивированный сорбент на основе природного цеолита является перспективным для глубокой очистки многокомпонентных сточных вод металлургических предприятий. Установлено, что сорбционная активность цеолита напрямую зависит от степени механоактивации сорбента. Наибольшая степень очистки промышленных сточных вод от ионов Cu^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+} (53,85%, 88,52% и 92,11% соответственно) достигается при 3 часовом контакте механоактивированного сорбента (оптимальной крупностью 50-100 мкм) со сточной водой и соотношении (1-2) г:100 $см^3$. Впервые построены изотермы адсорбции ионов меди (II), цинка и свинца (II) на механоактивированном цеолите Тайжузгенского месторождения в соответствии с моделями Ленгмюра и Фрейндлиха.

Ключевые слова: *сточные воды, ионы металлов, сорбция, цеолит, механоактивация, изотерма.*

R.A. Aubakirova[1], N.V. Seraya[2], G.K. Daumova[2]*, Sh.K. Sanyazova[1]
[1]S. East Kazakhstan University named after Amanzholova,
070010, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan street, 55
[2]D. Serikbaev East Kazakhstan Technical University, 1
070010, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, 9 D. Serikbaev Street
*e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru

INVESTIGATION OF SORPTION PROPERTIES OF MECHANICALLY ACTIVATED ZEOLITE FROM THE TAIZHUZGEN DEPOSIT

The paper investigates the treatment of wastewater of metallurgical enterprise MC MC 'Kazzinc' LLP from metal ions such as copper (II), zinc and lead (II). The possibility of wastewater treatment from metal ions with the help of mechanically activated natural zeolite of Taizhuzgen deposit (East Kazakhstan) has been substantiated. Adsorption ability of zeolite depending on its fractional composition has been studied. The effective method of sorbents modification – mechanical activation – is shown. By results of experimental researches it is established that the received mechanically activated sorbent on the basis of natural zeolite is

perspective for deep treatment of multicomponent waste waters of metallurgical enterprises. It was found that the sorption activity of zeolite directly depends on the degree of mechanically activated sorbent. The highest degree of industrial wastewater purification from Cu^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+} ions (53.85%, 88.52% and 92.11%, respectively) is achieved at 3-hour contact of mechanically activated sorbent (optimal size 50-100 microns) with wastewater and the ratio (1-2) g:100 cm^3. The adsorption isotherms of copper (II), zinc and lead (II) ions on mechanically activated zeolite of the Tayzhuzgen deposit were constructed for the first time in accordance with the Langmuir and Freundlich models.

Key words: *wastewater, metal ions, sorption, zeolite, mechanical activation, isotherm.*

Сведения об авторах

Роза Аблакимовна Аубакирова – кандидат химических наук, профессор кафедры «Химия», Восточно-Казахстанский университета имени С. Аманжолова, Республика Казахстан; e-mail: roza.aubakirova@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9403-1104.

Наталья Владимировна Серая – кандидат химических наук, профессор международной Школы инженерии, Восточно-Казахстанский технический университет им.Д.Серикбаева, Республика Казахстан; e-mail: nseraya@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7991-9129.

Гульжан Камалбеккызы Даумова* – кандидат технических наук, профессор Школы Наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Республика Казахстан; e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6312-5343.

Шынар Кадылбековна Саньязова – магистр педагогических наук, Сениор лектор кафедры «Химия», Восточно-Казахстанский университета имени С. Аманжолова, Республика Казахстан; e-mail: shynarsanyazova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0741-9268.

Авторлар туралы мәліметтер

Роза Аблакимовна Аубакирова – химия ғылымдарының кандидаты, «Химия» кафедрасының профессоры, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: roza.aubakirova@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9403.

Наталья Владимировна Серая – химия ғылымдарының кандидаты, халықаралық инженерия Мектебінің профессоры, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: nseraya@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7991-9129.

Гульжан Камалбеккызы Даумова* – техника ғылымдарының кандидаты, Жер туралы ғылымдар мектебінің профессоры, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6312-5343.

Шынар Кадылбековна Саньязова – педагогика ғылымдарының магистрі, «Химия» кафедрасының сениор лекторы, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: shynarsanyazova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0741-9268.

Information about the authors

Roza Ablakimovna Aubakirova – Candidate of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemistry, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan; e-mail: roza.aubakirova@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9403.

Natalya Vladimirovna Seraya – Candidate of Chemical Sciences, Professor of the International School of Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Republic of Kazakhstan; e-mail: nseraya@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7991-9129.

Gulzhan Kamalbekkyzy Daumova* – Candidate of Technical Sciences, Professor of the School of Earth Sciences, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Republic of Kazakhstan; e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6312-5343.

Shynar Kadylbekovna Sanyazova – Master of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Chemistry, S. Amanzholov East Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan; e-mail: shynarsanyazova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0741-9268.

Редакцияға енуі 01.04.2025
Өңдеуден кейін түсуі 03.06.2025
Жариялауға қабылданды 05.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-62

МРНТИ: 61.51.17, 61.51.37

BY 4.0
Check for updates

Н.А. Шадин[1,2], Е. Тілеуберді[1,2], А.Н. Айтуған[3], Ж.С. Мукатаева[1,2], Н.Н. Нургалиев[4,5]*

[1]Институт проблем горения,
050012, Республика Казахстан, г.Алматы, ул.,Богенбай батыр,172
[2]Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
050010, Республика Казахстан, г.Алматы, ул.Казыбек би, 28
[3]Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г.Алматы, проспект аль-Фараби, 71
[4]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20
[5]Берлинский университет имени Гумбольдта,
10117, Германия, Берлин, ул. Цигельштрассе, 30
*e-mail: nurgaliynurzhan@gmail.com

БИЦЕОЛИТНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МОНТМОРИЛЛОНИТА: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Аннотация: *В данной работе представлен синтез, структурная характеристика и оценка каталитической активности нового бицеолитного катализатора на основе алюминием-модифицированного пилларированного Na-монтмориллонита. Катализатор включает цеолиты HZSM-5 и HY в соотношении 1:1, встроенные в матрицу Al(2.5)NaMM, что обеспечивает сочетание высокой кислотности, термической стабильности, устойчивости к агломерации и развитой мезо- и макропористой структуры. Комплексное исследование, выполненное методами рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), ИК-спектроскопии и термопрограммируемой десорбции аммиака (ТПД-NH3), подтвердило успешное пилларирование NaMM, наличие структурной целостности и равномерного распределения цеолитных фаз. По данным ТПД-NH3, общая кислотность составила 163,8 мкмоль NH_3/г, при этом 45,5% кислотных центров были слабыми, 46,9% – д средними и 7,6% – сильными. Удельная поверхность катализатора составила 194,1 м²/г, объем пор – 0,94 см³/г. Преобладание слабых и средних кислотных центров способствует мягкой и селективной деструкции тяжелых углеводородов, снижает степень закоксовывания и продлевает срок службы катализатора. Предложенный состав эффективно работает при переработке битуминозных пород, асфальтенов а также смолистых компонентов, демонстрируя высокий потенциал для экологически чистой и энергоэффективной переработки нетрадиционного углеводородного сырья.*

Ключевые слова: *катализатор, бицеолит, монтмориллонит, тяжелые углеводороды, каталитическая активность.*

Введение

Глобальный рост энергопотребления и истощение легкодоступных запасов традиционной нефти обусловливают повышенный интерес к нетрадиционным источникам углеводородов, включая нефтебитуминозные породы. Эти обширные природные ресурсы, содержащие значительные объемы битумов, представляют собой крупномасштабный резерв, способный существенно пополнить глобальные запасы углеводородного сырья. Однако извлечение и дальнейшая переработка этих битумов сопряжены с комплексом технологических трудностей и экологических ограничений. Применяемые в настоящее время подходы, такие как экстракция растворителями или горячей водой, часто характеризуются высокой ресурсоемкостью, недостаточной конверсией сырья и формированием значительных объемов промышленных отходов. В контексте этих вызовов возрастает значимость разработки инновационных, ресурсосберегающих и экологически ответственных технологий для переработки тяжелого нефтебитуминозного сырья. Термокаталитические процессы выделяются как одно из наиболее перспективных направлений. Их применение позволяет интенсифицировать термическую деструкцию высокомолекулярных компонентов битумов в относительно мягких условиях, сокращая при этом образование нежелательных побочных продуктов. Использование каталитических систем обеспечивает не только повышение выхода ценных продуктов, но и возможность направленной модификации их физико-химических свойств для соответствия потребительским стандартам. Отдельное

преимущество заключается в возможности использования доступного отечественного сырья для синтеза катализаторов, что способствует снижению производственных издержек и укреплению сырьевой независимости.

Термокатализ значительно превосходит традиционные термические методы за счет своей повышенной эффективности в снижении вязкости, плотности и содержания серы, азота и металлов в битумах. Это приводит к получению более легких углеводородов, таких как бензиновые и дизельные фракции, и существенному уменьшению доли тяжелых компонентов, что повышает коммерческую ценность продукта. Катализаторы, используемые в термокатализе, не только ускоряют реакции, но и направляют их по более желаемым путям, улучшая селективность образования целевых продуктов и минимизируя образование нежелательных побочных продуктов, таких как кокс. Это достигается за счет наличия специфических активных центров, например, сильных кислотных центров Бренстеда и Льюиса в цеолитах, которые способствуют эффективному расщеплению длинноцепочечных углеводородов и удалению гетероатомов.

Эффективная конверсия высокомолекулярных и высокосмолистых компонентов, присущих битумам и тяжелым нефтям, является фундаментальной задачей, требующей применения специализированных каталитических систем. Катализаторы играют ключевую роль в снижении энергетических барьеров реакций деструкции углеводородов, способствуя получению более легких фракций и улучшению товарных свойств продуктов. В числе разнообразных каталитических материалов цеолиты выделяются благодаря уникальной архитектуре пор, исключительной термической стабильности и возможности тонкой настройки кислотных центров, что делает их идеальными кандидатами для переработки сложного углеводородного сырья. Бицеолитные катализаторы, состоящие из комбинации HZSM-5 и HY, показали высокую эффективность в процессе облагораживания тяжелой нефти и битумов. Эти два цеолита обладают различными, но взаимодополняющими свойствами, что позволяет достичь выраженного синергетического эффекта. Цеолит HY, имея структуру фожазита с размером входных окон 0,74 нм, осуществляет крекинг углеводородов C14-C20 и выше с образованием углеводородов бензинового ряда (C7-C8). Однако высокая скорость протекания реакций перераспределения водорода на цеолитах Y отрицательно сказывается на образовании олефинов. Для осуществления вторичного крекинга углеводородов C7-C8 в состав катализатора вводится цеолит ZSM-5. HZSM-5 является среднепористым цеолитом с высокой кислотностью и выраженной селективностью по форме, что делает его чрезвычайно эффективным для крекинга длинноцепочечных углеводородов. Их силикатный модуль ($SiO_2/Al_2O_3=29$) напрямую влияет на концентрацию и силу кислотных центров, что критически важно для контроля глубины конверсии и распределения продуктов. В свою очередь, цеолиты типа Y (в частности, HY) с их более крупными порами (суперклетками) проявляют активность в реакциях с участием объемных молекул, характерных для битумов. Синергия комбинации этих цеолитов позволяет HZSM-5 расщеплять более мелкие молекулы после их частичной деструкции или диффузии, в то время как HY эффективно обрабатывает более крупные молекулы, снижая при этом образование кокса и повышая общую конверсию и выход желаемых продуктов. Отмечено, что сбалансировав активность цеолитного компонента катализатора, можно повысить выход олефинов C2-C4 и одновременно сохранить на достаточно высоком уровне выход высокооктанового бензина. Ультрастабильный цеолит Y отвечает за селективность образования изо-парафинов и ароматических углеводородов [1-4] (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительные свойства и роли цеолитов HZSM-5 и HY в переработке битумов [5]

Свойство/Характеристика	Цеолит HZSM-5	Цеолит HY
Размер пор	Среднепористый (0.51-0.56 нм)	Крупнопористый (0.74 нм)
Кислотность	Высокая кислотность	Высокая кислотность
Основная функция	Селективный крекинг длинноцепочечных углеводородов	Преобразование крупных молекул, таких как асфальтены
Специфическое преимущество	Выраженная селективность по форме	Меньшая склонность к закоксовыванию
Вклад в синергию	Обработка продуктов крекинга HY, дальнейшая деструкция	Инициирующий крекинг крупных молекул, снижение коксообразования

Выбор подходящего опорного материала имеет решающее значение для общей эффективности, стабильности и экономической целесообразности катализатора. Природные глины, в частности монтмориллонит, являются чрезвычайно привлекательными кандидатами благодаря своей доступности, низкой стоимости и уникальной слоистой структуре с высокой ионообменной способностью. Большое внимание уделено разработке матрицы катализатора, которая обеспечивает первичный крекинг тяжелого углеводородного сырья и состоит из связующего и наполнителя. Смесь углеводородов C25-C60 исходного сырья, попадая в поры активной матрицы, подвергается первичному крекингу с преимущественным образованием углеводородов C4-C16. Требуемая активность матрицы достигается варьированием содержания аморфного алюмосиликата и переосажденного гидроксида алюминия. Для улучшения их каталитических свойств монтмориллониты подвергаются процессу пилларирования, при котором в межслоевое пространство вводятся поликатионы, например, алюминия. Это приводит к расширению межслоевого пространства, значительному увеличению удельной поверхности и объема пор [4-6]. Пилларированные монтмориллониты (ПМ) обладают повышенной каталитической активностью, стабильностью и селективностью, а также высокой термической стабильностью, что делает их идеальными для высокотемпературных процессов переработки битумов. Экспериментально установлено, что пилларирование слоистых алюмосиликатов повышает верхнюю границу термостабильности от 200 до 550-600°C. Кроме того, анализ данных литературы показывает, что пилларирование глинистых минералов олигомерными гидроксокатионами позволяет получать алюмосиликаты регулярной структуры, размеры полостей которых существенно больше, чем в крупнопористых цеолитах, в том числе фожазитах (9Å). Пилларированные глины характеризуются наличием кислотных центров различной природы и силы, что делает их перспективными материалами для применения в реакциях кислотного катализа [7-9]. В частности, согласно данным ИКС-спектроскопии с использованием молекулы-пробы CO, приведённым в работе, в структуре пилларированного монтмориллонита обнаружены как центры Бренстеда, так и центры Льюиса. Последние проявляются в виде полос поглощения на 2229 и 2195–2185 $см^{-1}$, тогда как слабые водородносвязанные комплексы CO с Si–OH-группами дают полосу при 2167 $см^{-1}$. Кроме того, процесс пилларирования сопровождается частичным удалением алюминия из кристаллической решётки монтмориллонита, что приводит к образованию развитой пористой структуры, включающей не только микропоры, но также мезо- и макропоры. Несмотря на значительные достижения в области термокатализа тяжелой нефти, существует явный пробел в исследованиях, касающихся термокаталитической экстракции битумов из конкретных казахстанских месторождений, таких как Беке и Мунайлы Мола. Эти месторождения могут обладать уникальными характеристиками битумов, включая специфический состав асфальтенов, содержание металлов и серы, что требует разработки и оптимизации специфических каталитических решений, адаптированных к местному сырью. Исходные нефтебитуминозные породы из месторождений Беке и Мунайлы Мола характеризуются высоким содержанием битумов, достигающим 10 и 14 мас. % соответственно. Анализ их физико-химических характеристик выявил высокие значения плотности и вязкостно-плотностных показателей. Эти особенности обусловлены значительным содержанием смолистых веществ в органической части сырья и относительно низким содержанием легких углеводородов. Такие свойства исходных битумов предопределяют сложности их традиционной переработки и подчеркивают необходимость применения эффективных каталитических методов для получения ценных жидких продуктов. Особый акцент в выявленном пробеле делается на исследовании применения цеолитов (HZSM-5 и HY) на неактивированных пилларированных глинах в качестве носителей для переработки битумов из месторождений Беке и Мунайлы Мола. Отсутствие всесторонних данных по физико-химическим характеристикам (удельная поверхность, пористость, спектр кислотности) таких специализированных композиций, синтезированных на основе природных глиняных матриц, подчеркивает необходимость детальных исследований. Понимание этих свойств является ключевым для оптимизации каталитической активности и определения оптимальных параметров процесса термокаталитического извлечения, включая температуру и время реакции, что позволит повысить эффективность конверсии битумов в ценные жидкие продукты [10-12].

Переработка нефтебитуминозных пород является критически важной для удовлетворения растущего глобального энергетического спроса и обеспечения энергетической безопасности. Термокаталитические процессы с использованием бицеолитных катализаторов (HZSM-5 и HY) на матрицах из пилларированных монтмориллонитов предлагают высокоэффективное и перспективное решение для облагораживания этих сложных сырьевых материалов, обеспечивая повышенную конверсию и улучшенное качество продукта. Целью настоящего исследования является всестороннее изучение физико-химических свойств и кинетических закономерностей процесса термокаталитической экстракции битумов из нефтебитуминозных пород, полученных на отечественных месторождениях Беке и Мунайлы Мола. В рамках данного подхода особая роль отводится разработке и применению специфических каталитических систем. Новизна работы заключается в апробации и оптимизации использования цеолита HZSM-5 с заданным модулем SiO2/Al2O3=29, а также синтеза и применения бицеолитного катализатора, состоящего из цеолитов HY и HZSM-5, в качестве активных компонентов, интегрированных в матрицу на основе природной глины Таганского месторождения [13].

Материалы и методы исследования

При приготовлении катализатора использовали цеолит HZSM-5 с модулем SiO2/Al2O3=29. бицеолитный HY+HZSM-5 катализатор, включающий 15% HY цеолита и 15% ZSM -5 – цеолита с силикатным модулем SiO2/Al2O3 =51. Матрицей служил пилларированный алюминием ММ в Na – форме (Al(2.5)NaMM). Соотношение HY и HZSM-5 цеолитов составило 1:1. Готовили катализатор смешением водных суспензий цеолита и AlNaMM. В работе были исследованы содержащие 15% HY и 15% HZSM-5 –цеолита и чисто HZSM-5 композиции с содержанием 10 и 15% HZSM-5 –цеолита. Катализаторы готовили смешением пилларированной матрицы с цеолитами с последующим формованием, высушиванием и прокаливанием. Пилларирование проводили введением алюминиевого агента в 5% водную суспензию глины с предварительным набуханием в течение суток; после завершения процесса материал отмывали от хлорид-ионов. Полученную влажную пилларированную массу смешивали с цеолитами HY и/или HZSM-5 (по 15 мас.%), формовали в гранулы и сушили при комнатной температуре, затем при 150 °C (2 ч) и 550 °C (2 ч). В составе бицеолитных катализаторов использовали HZSM-5 с модулем SiO2/Al2O3 = 29 и HY-цеолит при массовом соотношении 1:1, с матрицей на основе Al-пилларированного NaMM (Al(2.5)NaMM). Также исследовались композиции, содержащие 10 и 15 % чистого HZSM-5. Все катализаторы получали по стандартной схеме: смешение компонентов, формование, сушка и прокаливание. На рисунке 1 изображено схема процесса получения пилларированного слоистого алюмосиликата [13-16].

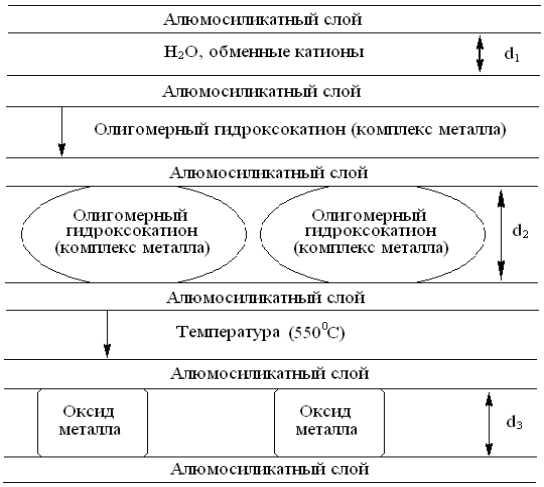


Рисунок 1 – Схематическое изображение процесса получения пилларированного слоистого алюмосиликата

Обозначения: d1=12,6Å; d2=18,6Å; d3=17,6Å

Результаты и обсуждения

Особенностью исследуемых HY-цеолитсодержащих катализаторов является использование Таганского монтмориллонита в Na – форме без предварительной кислотной

активации, что позволяет сохранить его естественную слоистую структуру и контролируемое межслоевое расстояние, а также избежать возможного разрушения каркаса цеолита и изменения его пористости в условиях кислотной обработки.

На рисунке 2 представлен основной структурный элемент минерала – пакет 2:1, состоящий из двух тетраэдрических (Т) слоев, фланкирующих центральный октаэдрический (О) слой. Показано межслоевое пространство, где расположены обменные катионы. В случае натриевого монтмориллонита (Na-ММ), одновалентные ионы Na+ и молекулы воды обеспечивают высокую гидратацию и набухание. Для кальциевого монтмориллонита (Ca-ММ) двухвалентные ионы Ca2+ формируют более сильные связи с алюмосиликатными слоями, обусловливая меньшую степень набухания и стабилизацию межслоевого расстояния при гидратации.

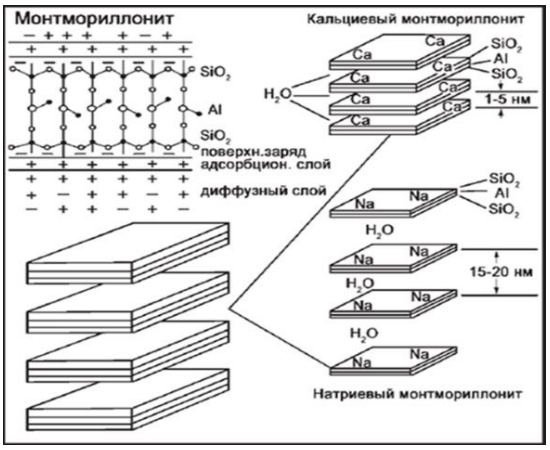


Рисунок 2 – Схема строения кальциевого и натриевого монтмориллонитов

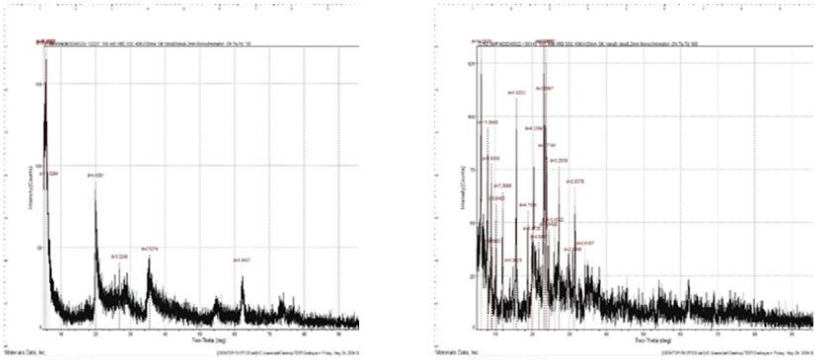
В отличие от Ca-ММ, где двухвалентные ионы Ca2+ плотнее связывают слои, Na+ ионы в Na-ММ благодаря своей однозарядности и большему радиусу гидратированного иона обеспечивают более легкое проникновение воды в межслоевое пространство. Это приводит к значительному увеличению межслоевого расстояния и, в идеале, к практически полному расслоению (эксфолиации) глины на отдельные наноразмерные чешуйки при диспергировании в воде или других полярных средах. Таким образом, несмотря на кажущуюся «менее стабильную» структуру, уникальные свойства Na-монтмориллонита (Na-ММ), особенно его способность к значительному набуханию и эксфолиации, открывают широкие возможности для его применения в качестве высокодисперсного, доступного и легко модифицируемого каталитического компонента. Это делает его предпочтительным выбором для термокаталитического извлечения битумов из нефтебитуминозных пород месторождений Беке и Мунайлы Мола.

Для дальнейшей оптимизации процесса и повышения селективности, в нашей работе был разработан бицеолитный Al(2.5)NaMM+15%HY+15%HZSM-5 катализатор, который по сравнению с Al(2.5)NaMM+15%HY – контактом отличается повышенной величиной удельной поверхности и большим числом микропор, задаваемых узкопористым ZSM-5-цеолитом, что критически определяет направление процесса и эффективность трансформации тяжелых углеводородов. По данным элементного анализа в состав Al(2.5)NaMM+HY+HZSM-5 катализатора найдено 51.44% O; 0.58% Na; 1.31% Mg; 11.7% Al; 34.62 %Si; 0.35% Fe [15] (табл. 2).

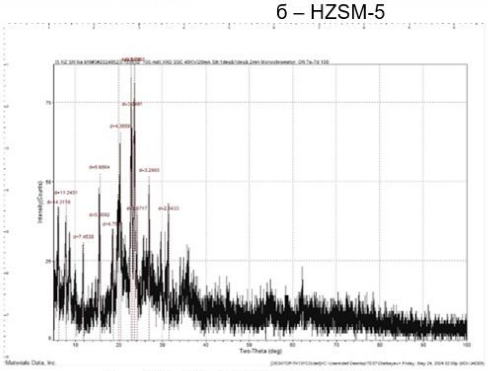
Таблица 2 – Структурные характеристики катализаторов Al(2.5)NaMM+HY(15%) и Al(2.5) NaMM+HY(15%)+HZSM-5(15%)

Образец	Sуд,м2/г	Vmax, см3/г	R, Å	Относительное содержание пор, %	
				Микропоры <2 нм	Мезопоры 2-8 нм
Al(2.5)NaMM+ HY	149.3	0.101	10-70	37.7	62.3
Al(2.5)NaMM+ HY+HZSM-5	194.1	0.94	10-70	67.1	32.9

Для детального понимания элементного состава и распределения ключевых компонентов в каталитической системе, а также для подтверждения успешного формирования бицеолитного катализатора, было проведено исследование образцов NaMM, HZSM-5 и Al(2.5)NaMM+HY+HZSM-5 методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА , рис. 3).



а – NaMM б – HZSM-5



в – Al(2,5)NaMM+HY+HZSM-5

Рисунок 3 – Рентгенофлуоресцентный анализ катализаторов
а – NaMM, б – HZSM-5, в – Al(2,5)NaMM+HY+HZSM-5

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) был использован для определения элементного состава исходных компонентов и композитного катализатора. РФА-спектр Na-монтмориллонита (NaMM) подтвердил высокое содержание кремния (Si) и алюминия (Al), а также присутствие натрия (Na) как основного обменного катиона, и характерных для глины примесей железа (Fe) и магния (Mg). Для HZSM-5 анализ выявил высокие концентрации Si и Al, подтверждая его алюмосиликатную природу и высокое соотношение Si/Al, важное для кислотных свойств. РФА бицеолитного катализатора Al(2.5)NaMM+HY+HZSM-5 предоставил интегральную картину, демонстрируя присутствие всех ключевых элементов от каждого компонента. Доминирующие Si и Al, а также обнаружение Na, Mg и Fe подтвердили успешное включение NaMM и обоих цеолитов в гибридную систему. Анализ полученных физико-химических характеристик цеолитсодержащих на Al(5.0)NaMM катализаторов также показал, что по сравнению с исходным NaMM при пилларировании растет базальный рефлекс (по данным РФА). Он увеличивается от 11.9 Å для NaMM до 14.0 Å для Al(5.0)NaMM+HY и 14.6 Å для Al(5.0)NaMM+HZSM катализаторов. Это увеличение межслоевого расстояния подтверждает успешное внедрение полиоксокатионов алюминия в межпакетное пространство монтмориллонита, что приводит к формированию стабильных мезопор и повышению доступности внутренних активных центров глины. Эти результаты РФА, в сочетании с данными по межслоевому расстоянию, критически важны для полной характеристики катализатора и прогнозирования его эффективности в целевых процессах.

Учитывая подтвержденный элементный состав и успешное формирование пористой структуры, полученные результаты которых представлены выше, следующим критическим этапом исследования являлось изучение кислотных свойств разработанного бицеолитного катализатора Al(2.5)NaMM+HY+HZSM-5. Именно спектр кислотности, включающий распределение и силу Брёнстедовских и Льюисовских центров, определяет каталитическую активность и селективность системы в реакциях трансформации углеводородов (рис. 4).

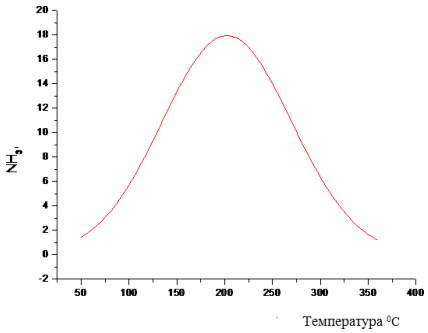


Рисунок 4 – Спектр кислотности бицеолитного Al(2.5) NaMM+ HY+HZSM-5 катализатора

Использование узкопористого HZSM-5 цеолита с силикатным модулем 51 в составе бицеолитного катализатора на Al(2.5)NaMM матрице приводит к уменьшению суммарной кислотности и увеличению количества слабых и средних кислотных центров. Это наблюдается по сравнению с цеолитным катализатором HZSM-5 с более низким силикатным модулем 29. Для количественной оценки этих изменений и детального изучения распределения кислотных центров по силе, было проведено исследование кислотности пилларированного алюминием AlNaMM, а также бицеолитных катализаторов Al(5.0)NaMM+HY и Al(2.5)NaMM+HY+HZSM-5 методом термопрограммируемой десорбции аммиака (ТПД аммиака, табл. 3).

Таблица 3 – Кислотные свойства катализаторов, определенные методом ТПД аммиака

Образец	Содержание	Кислотные центры			
		Слабые <200℃	Средние 200-300℃	Сильные >300℃	Общая кислотность
AL(5.0)NaMM +HZSM-5	%	40	32	28	100
	мкмоль NH3/г	110	88	77	274
AL(5.0)NaMM +HY	%	45	30	25	100
	мкмоль NH3/г	112,5	75	62,5	250
AL(5.0)NaMM	%	45	35	20	100
	мкмоль NH3/г	88	68	39	195
AL(5.0)NaMM +HY+HZSM-5	%	45,5	46,9	7,6	100
	мкмоль NH3/г	74,6	76,9	12,5	164

Анализ спектра кислотности бицеолитного катализатора Al(2.5)NaMM+HY+HZSM-5 методом термопрограммируемой десорбции аммиака (ТПД-NH3) показал, что его суммарная кислотность составляет 163.8 мкмоль NH3/г. Распределение кислотных центров по силе выявило преобладание слабых и средних центров: 7.6% сильных, 46.9% средних и 45.5% слабых. Такое сбалансированное соотношение является оптимальным для каталитических процессов, требующих контролируемой активности и селективности, минимизируя нежелательные глубокие деструкции и коксообразование. Эти данные подтверждают, что разработанный катализатор обладает кислотными характеристиками, благоприятными для эффективной трансформации углеводородов в процессе термокаталитического извлечения битумов [17].

Для более глубокого понимания природы и локализации этих кислотных центров, а также для подтверждения структурных особенностей и взаимодействия между компонентами катализатора, было проведено исследование ИК-спектр катализатора Al(2.5)NaMM+HY+HZSM-5 (рис. 5).

ИК-спектроскопия подтвердила успешное формирование бицеолитного катализатора, сохраняющего структурную целостность всех компонентов. В спектре композита четко проявляются характерные полосы Na-монтмориллонита (NaMM) при 1028 $см^{-1}$ (валентные колебания Si−O−Si) и 650 $см^{-1}$ (деформационные колебания Si−O−Al), указывающие на его слоистую структуру. Присутствие полос при 2327 $см^{-1}$ и 3724 $см^{-1}$ свидетельствует о сохранении Брёнстедовских кислотных центров цеолитов HY и HZSM-5. Более того, ИК-спектр демонстрирует характерный пик MFI-структуры HZSM-5 при 703 $см^{-1}$, подтверждая его стабильность. Отсутствие значительных структурных изменений или аморфизации указывает

на совместимость компонентов. Эти результаты подтверждают, что разработанный катализатор обладает необходимой пористой структурой и кислотными центрами для эффективной трансформации углеводородов.

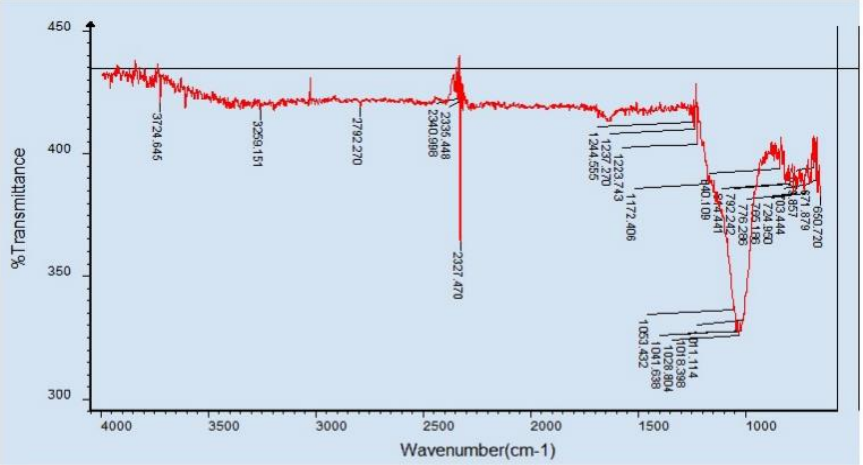


Рисунок 5 – ИК-спектр катализатора Al(2.5)NaMM+HY+HZSM-5

Заключение

В настоящем исследовании был разработан и всесторонне охарактеризован инновационный бицеолитный катализатор, включающий Na-монтмориллонит (NaMM), HY-цеолит и HZSM-5, специально адаптированный для термокаталитического извлечения битумов из нефтебитуминозных пород. Комплексная характеризация с использованием рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), ИК-спектроскопии и термопрограммируемой десорбции аммиака (ТПД-NH3) позволила получить глубокое понимание его структурных и функциональных свойств. Данные РФА подтвердили успешное пилларирование NaMM, о чем свидетельствует увеличение базального рефлекса. ИК-спектроскопия подтвердила структурную целостность всех компонентов в композите и наличие их характеристических функциональных групп, включая кислотные центры цеолитов. Анализ кислотности методом ТПД-NH3 выявил суммарную кислотность в 163.8 мкмоль NH3/г с оптимальным распределением кислотных центров: 45.5% слабых, 46.9% средних и 7.6% сильных. Такое преобладание слабых и средних центров является стратегически важным для процесса термокаталитического извлечения битумов, так как способствует контролируемой деструкции тяжелых углеводородов и минимизирует нежелательное коксообразование. Разработанный бицеолитный катализатор, обладающий уникальной пористой структурой и сбалансированным спектром кислотности, демонстрирует значительный потенциал для повышения эффективности и селективности в переработке трудноизвлекаемых углеводородных ресурсов.

Список литературы

1. Закономерности синтеза и физико-химические свойства пентасила / Т.В. Лимова и др. // Химия и технология топлив и масел. – 1982. – № 60. – С. 11-13.

2. Разработка новых типов цеолитов и катализаторов на их основе для процессов нефтепереработки и нефтехимии / Е.Д. Радченко и др. // Нефтехимия. – 1990. – Т. 30, № 3. – С. 326-338.

3. Абрамова А.Б. Исследование структуры и состава декатионированных деалюминированных цеолитов типа Y / А.Б. Абрамова, Е.В. Сливинский, Е.А. Скрылева // Кинетика и катализ. – 1998. – Т. 39, № 3. – С. 452-460.

4. Термостабильность высококремнеземных цеолитов / Б.Л. Хусид и др. // Кинетика и катализ. – 1987. – Т. 28, вып. 4. – С. 938-942.

5. Волков В.Ю. Крекинг нефтяного сырья на бицеолитной катализаторной системе / В.Ю. Волков, М.А. Калико // Тезисы докл. VI Всес. конф. «Применение цеолитов в катализе». – М., 1989. – С. 199-200.

6. Косолапова А.П. Синтез и свойства бицеолитных катализаторов крекинга / А.П. Косолапова, Т.А. Большакова, В.С. Фадеев // В кн.: Катализаторы крекинга и цеолиты. – М.: ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1984. – 176 с.
7. Доронин В.П. Научные основы разработки промышленных катализаторов крекинга / В.П. Доронин, Т.П. Сорокина // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2000. – № 11. – С. 22-25.
8. Коробицына Л.Л. Синтез, кислотные и каталитические свойства высококремнеземных цеолитов типа ZSM в процессах получения углеводородов: автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Томск, 1998. – 24 с.
9. Коваль Л.М. Синтез, физико-химические и каталитические свойства высококремнеземных цеолитов / Л.М. Коваль, Л.Л. Коробицына, А.В. Восмериков. – Томск: Изд-во ТГУ, 2001. – 50 с.
10. Mikhailov M.N. The state and reactivity of Pt_6 particles in ZSM-5 zeolite / M.N. Mikhailov, L.M. Kustov, V.B. Kazansky // Catalysis Letters. – 2008. – Vol. 120, № 1-2. – P. 8-13.
11. Activity-acidity relationship for alkane cracking over zeolites: n-hexane cracking over HZSM-5 / P. Borges et al // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. – 2005. – Vol. 229, № 1-2. – P. 127-135.
12. Каталитическая активность пентасила, содержащего наночастицы Pt, Ni, Fe и Zn, в превращениях углеводородов (сообщение 2) / Л.М. Величкина и др. // Нефтехимия. – 2008. – Т. 48, № 4. – С. 353-357.
13. Aromatization and desulphurisation of liquefied petroleum gas over Zn-containing zeolite catalysts modified transition metals / B.T. Tuktin et al // Int. J. Oil, Gas and Coal Technology, United Kingdom. – 2020. – Vol. 17, № 4. – P.186-198.
14. Термостабильность цеолитов Y–ZSM-5 в матрицах различного состава / Л.А. Белая и др. // Журнал прикладной химии. – 2009. – Т. 82, вып. 2. – С. 243-249.
15. Anderson J.A. Zeolite containing (HY + HZSM-5) catalyst on Al-pillared montmorillonite for cracking of weighted vacuum gas oil / J.A. Anderson, N.A. Zakarina, L.D. Volkova // Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан. – 2016. – № 6.
16. Hydrotreating of gasoline and diesel petrol fractions over modified alumo/zeoite cataysts / B.T. Tuktin et al // Petroleum science and technology, USA. – 2019. – № 4(33). – P. 400-407.
17. Шадин Н.А. Катализаторы крекинга утяжеленных вакуумных газойлей на основе пилларированных алюминием монтмориллонитов Казахстанских месторождений : дис. ... д-ра философии (PhD): 6D073900 – Нефтехимия / Нұргүл Адырбекқызы Шадин; Казахстанско-Британский технический университет. – Алматы, 2016. – 150 с.

References

1. Zakonomernosti sinteza i fiziko-khimicheskie svoistva pentasila / T.V. Limova i dr. // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. – 1982. – № 60. – S. 11-13. (In Russian).
2. Razrabotka novykh tipov tseolitov i katalizatorov na ikh osnove dlya protsessov neftepererabotki i neftekhimii / E.D. Radchenko i dr. // Neftekhimiya. – 1990. – T. 30, № 3. – S. 326-338. (In Russian).
3. Abramova A.B. Issledovanie struktury i sostava dekationirovannykh dealyuminirovannykh tseolitov tipa Y / A.B. Abramova, E.V. Slivinskii, E.A. Skryleva // Kinetika i kataliz. – 1998. – T. 39, № 3. – S. 452-460. (In Russian).
4. Termostabil'nost' vysokokremnezemnykh tseolitov / B.L. Khusid i dr. // Kinetika i kataliz. – 1987. – T. 28, vyp. 4. – S. 938-942. (In Russian).
5. Volkov V.YU. Kreking neftyanogo syr'ya na bitseolitnoi katalizatornoi sisteme / V.YU. Volkov, M.A. Kaliko // Tezisy dokl. VI Vses. konf. «Primenenie tseolitov v katalizE». – M., 1989. – S. 199-200. (In Russian).
6. Kosolapova A.P. Sintez i svoistva bitseolitnykh katalizatorov krekinga / A.P. Kosolapova, T.A. Bol'shakova, V.S. Fadeev // V kn.: Katalizatory krekinga i tseolity. – M.: TSNIITEHNEFTEKHIM, 1984. – 176 s. (In Russian).
7. Doronin V.P. Nauchnye osnovy razrabotki promyshlennykh katalizatorov krekinga / V.P. Doronin, T.P. Sorokina // Neftepererabotka i neftekhimiya. – 2000. – № 11. – S. 22-25. (In Russian).
8. Korobitsyna L.L. Sintez, kislotnye i kataliticheskie svoistva vysokokremnezemnykh tseolitov tipa ZSM v protsessakh polucheniya uglevodorodov: avtoref. dis. ... kand. khim. nauk. – Tomsk, 1998. – 24 s. (In Russian).
9. Koval' L.M. Sintez, fiziko-khimicheskie i kataliticheskie svoistva vysokokremnezemnykh tseolitov / L.M. Koval', L.L. Korobitsyna, A.V. Vosmerikov. – Tomsk: Izd-vo TGU, 2001. – 50 s. (In Russian).

10. Mikhailov M.N. The state and reactivity of Pt_6 particles in ZSM-5 zeolite / M.N. Mikhailov, L.M. Kustov, V.B. Kazansky // Catalysis Letters. – 2008. – Vol. 120, № 1-2. – P. 8-13. (In English).
11. Activity-acidity relationship for alkane cracking over zeolites: n-hexane cracking over HZSM-5 / R. Borges et al // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. – 2005. – Vol. 229, № 1-2. – P. 127-135. (In English).
12. Kataliticheskaya aktivnost' pentasila, soderzhashchego nanochastitsy Pt, Ni, Fe i Zn, v prevrashcheniyakh uglevodorodov (soobshchenie 2) / L.M. Velichkina i dr. // Neftekhimiya. – 2008. – T. 48, № 4. – S. 353-357. (In Russian).
13. Aromatization and desulphurisation of liquefied petroleum gas over Zn-containing zeolite catalysts modified transition metals / V.T. Tuktin et al // Int. J. Oil, Gas and Coal Technology, United Kingdom. – 2020. – Vol. 17, № 4. – P.186-198. (In English).
14. Termostabil'nost' tseolitov Y–ZSM-5 v matritsakh razlichnogo sostava / L.A. Belaya i dr. // Zhurnal prikladnoi khimii. – 2009. – T. 82, vyp. 2. – S. 243-249. (In Russian).
15. Anderson J.A. Zeolite containing (HY + HZSM-5) catalyst on Al-pillared montmorillonite for cracking of weighted vacuum gas oil / J.A. Anderson, N.A. Zakarina, L.D. Volkova // Doklady Natsional'noi akademii nauk Respubliki Kazakhstan. – 2016. – № 6. (In English).
16. Hydrotreating of gasoline and diesel petrol fractions over modified alumo/zeoite cataysts / B.T. Tuktin et al // Retroleum science and technology, USA. – 2019. – № 4(33). – P. 400-407. (In English).
17. Shadin N.A. Katalizatory krekinga utyazhelennykh vakuumnykh gazoilei na osnove pillarirovannykh alyuminiem montmorillonitov Kazakhstanskikh mestorozhdenii: dis. ... d-ra filosofii (PhD): 6D073900 – Neftekhimiya / Nұrgyl Adyrbekқyzy Shadin; Kazakhstansko-Britanskii tekhnicheskii universitet. – Almaty, 2016. – 150 s. (In Russian).

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК по программе BR21882255 «Разработка новых способов переработки тяжелых нефтей, нефтяных остатков, нефтебитуминозных пород, окисления гудрона с добавкой модификаторов для расширения производства битумов».

Н.А. Шадин[1,2], Е. Тілеуберді[1,2], А.Н. Айтуған[3], Ж.С. Мұкатаева[1,2], Н.Н. Нұрғалиев[4,5*]
[1]Жану проблемалары институты,
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Богенбай батыр к-сі,172
[2]Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті,
050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Қазыбек би к-сі, 28
[3]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Әл-Фараби даңғылы,71
[4]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки, к-сі, 20
[5]Берлиннің Гумбольдт атындағы университеті,
10117, Германия, Берлин, Цигельштрассе к-сі, 30
[*]e-mail: nurgaliynurzhan@gmail.com

МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН МОНТМОРИЛЛОНИТ НЕГІЗІНДЕГІ БИЦЕОЛИТТІ КАТАЛИЗАТОРЛАР: СИНТЕЗІ, ҚАСИЕТТЕРІ ЖӘНЕ КАТАЛИТИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІ

Бұл жұмыста алюминиймен модификацияланған, пиллярланған Na-монтмориллонит негізіндегі инновациялық бицеолитті катализатордың синтезі, құрылымы және каталитикалық белсенділігі қарастырылады. Катализатор құрамында HZSM-5 және HY цеолиттері (1:1 қатынасында) бар және олар Al(2.5)NaMM матрицасына біріктірілген. Мұндай құрылым жоғары қышқылдылықты, термиялық тұрақтылықты және жақсы дамыған мезо- және макрокеуекті жүйені қамтамасыз етеді. Катализатордың құрылымдық және функционалдық сипаттамалары РФА, ИК-спектроскопия және NH_3-ТПД әдістерімен жан-жақты зерттелді. РФА нәтижелері NaMM сәтті пиллярланғанын растады, ал ИК-спектроскопия композиттегі барлық компоненттердің сақталған құрылымын және функционалдық топтарын көрсетті. NH_3-ТПД нәтижелері жалпы қышқылдықтың 163,8 мкмоль NH_3/г екенін және қышқыл орталықтардың 45,5% әлсіз, 46,9% орташа, 7,6% күшті түрінде бөлінгенін көрсетті. Әлсіз және орташа қышқылдықтың басымдығы ауыр көмірсутектердің басқарылатын термокаталитикалық деструкциясын қамтамасыз етеді және кокстың түзілуін едәуір төмендетеді. Катализатор битумды мұнай битуминозды жыныстардан термокаталитикалық әдіспен тиімді өндіру үшін перспективалы шешім болып табылады және ауыр көмірсутектерді өңдеуге арналған экологиялық таза әрі селективті платформа ұсынады.

Түйін сөздер: *катализатор, бицеолит, монтмориллонит, ауыр көмірсутектер, каталитикалық белсенділік.*

N.A. Shadin[1,2], Y. Tileuberdi[1,2], A.N. Aitugan[3], Zh.S. Mukatayeva[1,2], N.N. Nurgaliyev[4,5]*
[1]Institute of Combustion Problems,
050012, Kazakhstan Almaty city, Bogenbai Batyr Street 172
[2]Abai Kazakh National Pedagogical University,
050010, Kazakhstan, Almaty city, Kazybek Bi Street 28
[3]Al-Farabi Kazakh National University,
050040, Kazakhstan Almaty, Al-Farabi avenue, 71
[4]Shakarim university,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey city, Glinki street, 20
[5]Humboldt-Innovation GmBH, Humboldt University of Berlin,
10117, Germany Berlin, Ziegelstrasse 30
*e-mail: nurgaliynurzhan@gmail.com

BICEOLITE CATALYSTS BASED ON MODIFIED MONTMORILLONITE: SYNTHESIS, PROPERTIES, AND CATALYTIC ACTIVITY

This study reports the synthesis and catalytic evaluation of a novel biceolite catalyst based on pillared Na-montmorillonite (NaMM) modified with aluminum. The catalyst incorporates HZSM-5 and HY zeolites (1:1 ratio) into an Al(2.5)NaMM matrix, offering high acidity, thermal stability, and developed porosity. Characterization by XRF, FTIR, and NH_3-TPD confirmed the structural integrity and efficient distribution of acid sites: 45.5% weak, 46.9% medium, and 7.6% strong, with a total acidity of 163.8 μmol NH_3/g. The specific surface area reached 194.1 m^2/g, and pore volume was 0.94 cm^3/g. The dominance of weak and medium acid sites favors selective cracking of heavy hydrocarbons with minimized coke formation. This makes the catalyst suitable for thermocatalytic recovery of bitumen from bituminous rocks. Its balanced acidity and porous structure enable effective processing of heavy hydrocarbon feedstocks, offering improved efficiency and selectivity. The developed catalyst shows strong potential for applications in advanced upgrading of unconventional petroleum resources.

Key words: *catalyst, biceolite, montmorillonite, heavy hydrocarbons, catalytic activity.*

Авторлар туралы мәліметтер

Нұргүл Адырбекқызы Шадин – PhD, Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық Университеті химия кафедрасының оқытушысы; Жану проблемалары институтының ғылыми қызметкері; e-mail: nugen_87@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7713-1795.

Ербол Тілеуберді – PhD, Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық Университеті, химия кафедрасының қауымдастырылған профессоры; Жану проблемалары институтының жетекші ғылыми қызметкері; e-mail: er.tileuberdi@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9733-5015

Жазира Сағатбековна Мұқатаева – химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Абай атындағы Қазақ Ұлттық Педагогикалық Университеті, химия кафедрасының меңгерушісі; Жану проблемалары институтының аға ғылыми қызметкері; e-mail: jazira-1974@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1584-5810.

Айзат Нағметоллақызы Айтуған – PhD, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, химиялық физика және материалтану кафедрасының оқытушысы; e-mail: aizataitugan@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3302-9363.

Нұржан Нұрлыбекұлы Нұрғалиев* – PhD, Шәкәрім университеті, химия және экология кафедрасының қауымдастырылған профессоры; Humboldt-Innovation GmbH, Гумбольдт атындағы университетінің зерттеушісі; e-mail: nurgaliynurzhan@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1216-7150.

Сведения об авторах

Нұргүл Адырбекқызы Шадин – PhD, преподователь кафедра химии Казахского национального педагогического университета им.Абая; научный сотрудник институт проблем горения; e-mail: nugen_87@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7713-1795.

Ербол Тилеуберди – PhD, ассоциированный профессор кафедры химии Казахского национального педагогического университета им. Абая; ведущий научный сотрудник институт проблем горения; e-mail: er.tileuberdi@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9733-5015.

Жазира Сагатбековна Мукатаева – кандидат химических наук, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой химии Казахского национального педагогического университета им. Абая; старший научный сотрудник институт проблем горения; e-mail: jazira-1974@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1584-5810.

Айзат Нагметоллакызы Айтуган – PhD, преподователь кафедры химической физики и материаловедения, Казахский национальный университет имени аль-Фараби; e-mail: aizataitugan@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3302-9363.
Нуржан Нурлыбекович Нургалиев* – PhD, ассоциированный профессор кафедры химии и экологии, Шакарим Университет; исследователь Humboldt-Innovation GmbH, Университет имени Гумбольдта в Берлине; e-mail: nurgaliynurzhan@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1216-7150.

Information about the authors
Nurgul Adyrbekkyzy Shadin – PhD, lecturer of the chemical department Abai Kazakh National Pedagogical University; researcher at institute of combustion problems; e-mail: nugen_87@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7713-1795.
Yerbol Tileuberdi – PhD, associate professor of the chemical department of Abai Kazakh National Pedagogical University; leading researcher at institute of combustion problems; e-mail: er.tileuberdi@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9733-5015.
Zhazira Sagatbekovna Mukatayeva – PhD, associate professor, Head of the chemical department of Abai Kazakh National Pedagogical University; senior researcher at institute of combustion problems; e-mail: jazira-1974@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9733-5015.
Aizat Nagmetollakyzy Aitugan – PhD, lecturer of the department of chemical physics and materials science Al-Farabi Kazakh National University; e-mail: aizataitugan@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3302-9363.
Nurzhan Nurlybekovich Nurgaliyev* – PhD, associate professor department of chemistry and ecology, Shakarim university; Researcher of Humboldt-Innovation GmBH, Humboldt University of Berlin; e-mail: nurgaliynurzhan@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1216-7150.

Поступила в редакцию 31.07.2025
Поступила после доработки 04.08.2025
Принята к публикации 07.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-63

CC BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 61.51.29

Ж.М. Мылтықбаева[1*], Д. Мұқталы[1], Е.И. Иманбаев[2], А. Абылайхан[1], Б.Х. Мусабаева[3]
[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы, Әл-Фараби даңғылы, 71
[2]Жану проблемалары институты,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Бөгенбай батыр к-сі, 172
[3]Астана Халықаралық университеті,
Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қабанбай батыр даңғылы, 8
*e-mail: jannur81@mail.ru

ФОТОКАТАЛИТИКАЛЫҚ СУТЕГІ ТҮЗІЛУ ПРОЦЕСІНДЕГІ КАТАЛИЗАТОРЛАР ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

Аңдатпа: *Бұл зерттеу жұмысы молибден (Mo) және вольфрам (W) элементтерін қамтитын катализаторлардың фотокаталитикалық сутек өндіру процесіндегі тиімділігі мен тұрақтылығын арттыруға бағытталған. Олардың құрылымдық, электрондық, оптикалық, каталитикалық қасиеттері зерттелген. Жасыл сутек өндірісіне арналған арзан әрі белсенді катализаторларды әзірлеу – қазіргі заманғы энергия мен экология саласындағы маңызды міндеттердің бірі. Зерттеу барысында MoS_2 және WOx негізіндегі катализаторлар гидротермиялық әдіспен синтезделіп, әртүрлі температурада термиялық өңдеуден өткізілді. Катализаторлардың құрылымдық, морфологиялық және оптикалық қасиеттері Raman, UV-Vis сияқты заманауи әдістермен жан-жақты сипатталды. Сутек өндіру реакциялары арнайы жасалған күн симуляторы арқылы жүргізіліп, катализаторлардың фотокаталитикалық белсенділігі мен тұрақтылығы бағаланды. Нәтижелерге сәйкес, MoS-A320 үлгісі ең жоғары сутек түзілу белсенділігін (83 мл/сағ·г) және жоғары тұрақтылықты (93%) көрсетті. Бұл көрсеткіш платиналық катализаторлардың тиімділігіне жақын. Сонымен қатар, WOx катализаторлары салыстырмалы түрде төмен белсенділік көрсетті. Зерттеу нәтижелері Mo және W құрамды катализаторлардың қасиеттеріне синтез параметрлері мен термиялық өңдеудің айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Бұл жұмыс жасыл энергетика мен*

су электролизі жүйелері үшін тиімді, тұрақты және қолжетімді катализаторларды әзірлеу жолындағы маңызды қадам болып табылады. Бұл зерттеу Mo және W негізіндегі арзан, тиімді катализаторларды жобалауға жаңа мүмкіндіктер ұсынады.

Түйін сөздер: *Оттекті MoS_2, WOx, эволюция реакциясы; сутек эволюциясы реакциясы; күкірттеу; гетерогенді катализ.*

Кіріспе

Қазіргі таңда экологиялық жағдайдың нашарлауы және энергетикалық ресурстарға деген сұраныстың артуы жаңа, тиімді және экологиялық қауіпсіз технологияларды әзірлеуді қажет етеді. Сонымен қатар, жаһандық энергия сұранысының қарқынды өсуі жағдайында жасыл сутектің жаһандық энергия жүйесінде лайықты орнын алуы үлкен маңызға ие. Себебі сутек – көміртек шығаратын қазба отындарын алмастыра алатын ең үздік энергия тасымалдаушыларының бірі болып табылады. Дегенмен, жасыл сутек технологиясының қазіргі энергия жүйелерімен, әсіресе, шығындар мен қолжетімді инфрақұрылым тұрғысынан бәсекеге түсуі үшін зерттеулердің жылдам жалғасуы аса маңызды [1].

Жасыл сутек өндірудің танымал әдістерінің бірі – суды электролиз арқылы сутекке бөлу болып табылады. Су молекулаларын бөлу үшін қажетті энергияны альтернативті және жаңартылатын энергия жүйелерінен, әсіресе күн энергиясынан алу қажет. Жасыл сутек өндірісіндегі ең маңызды мәселе – сутек өндірісінде қолданылатын фотокаталитикалық және электрокаталитикалық процестердің төмен тиімділігі. Бұл мәселені шешудің басты жолы – төмен құны бар, мол, оңай өндірілетін, тұрақтылығы мен белсенділігі жоғары катализаторларды қолдану болып табылады [2, 3].

Осындай технологиялардың бірі ретінде жарықтың әсерінен жүретін фотокаталитикалық процестер кеңінен зерттелуде. Фотокатализ – қоршаған ортаға зиянсыз, энергияны аз қажет ететін және кең қолдану аясы бар перспективалы әдіс болып табылады. Бұл әдіс түрлі органикалық және бейорганикалық ластаушы заттарды залалсыздандыруға, сондай-ақ жаңартылатын энергия көздері арқылы сутек алу сияқты маңызды мәселелерді шешуге мүмкіндік береді.

Соңғы жылдары молибден дисульфиді (MoS_2) мен вольфрам дисульфиді (WS_2) сияқты ауыспалы металл дисульфидтері (TMDs) катализде қымбат бағалы металдардың баламалары ретінде қарастырылуда [4, 5]. MoS_2 және WS_2 негізінен жартылай өткізгіш тригональды (2H) фаза мен металлдық октаэдрлік (1T) фазаны қамтиды [6, 7]. Эксперименттік және теориялық зерттеулердің нәтижелері көрсеткендей, 1T металл фазасы 2H фазасымен салыстырғанда керемет өткізгіштікке және көптеген белсенді орталықтарға ие, бұл оны фотокаталитикалық жолмен сутегі (H_2) өндіруге тиімді сокатализатор етеді [8]. TMDs материалдарының ішіндегі ең танымалдарының бірі ретінде 1T-фазалы MoS_2 фотокатализ саласында кеңінен зерттелген [9-11]. Алайда 1T-фазалы WS_2 (1T-WS_2) көмегімен H_2 фотокаталитикалық өндіру туралы деректер әлі де сирек кездеседі.

MoS_2 – қабыршақ құрылымды, тыйым салынған зонасы тар, жартылай өткізгіш қасиетке ие материал ретінде фотокаталитикалық сутек өндіруде жоғары белсенділік көрсетеді. Ультражұқа MoS_2 наножапырағы – бұл соңғы жылдары үлкен назарға ие болған өткелдік металл сульфидтері жүйелеріне тән материал. Ол тамаша құрылымдық және фотокаталитикалық қасиеттерге ие болып, сутегі өндірудің жоғары белсенді реакцияларында платинаның орнын басатын материалға айналды [12,13].

Ал WO_x оксидтері – тотығу процестерінде, атап айтқанда органикалық ластаушы заттарды ыдырату мен ұшпа органикалық қосылыстарды жоюда тиімділігімен ерекшеленеді. Бұл материалдардың жарықты сіңіру қабілеті, химиялық және термиялық тұрақтылығы оларды фотокатализ саласында қолдануға мүмкіндік береді. Дегенмен, MoS_2 және WO_x материалдарының фотокаталитикалық белсенділігін салыстырмалы түрде зерттеу, олардың құрылымдық ерекшеліктері мен жұмыс істеу механизмдерін анықтау әлі де өзекті ғылыми мәселе болып отыр. Бұл бағыттағы зерттеулер жаңа композитті және гибридті катализаторларды әзірлеуге, сонымен қатар олардың тиімділігін арттыруға негіз бола алады. Осыған байланысты, MoS_2 және WO_x катализаторларының фотокаталитикалық процестердегі белсенділігін зерттеу – материалтану және экология саласындағы маңызды әрі өзекті ғылыми бағыттардың бірі болып табылады. Сондықтан, молибден мен вольфрам құрамды, жоғары каталитикалық белсенділікке және тұрақтылыққа ие катализаторларды зерттеу – сутегі энергетикасы мен тұрақты даму саласындағы перспективалы бағыт болып табылады.

Осы зерттеудің мақсаты – фотокаталитикалық сутегі өндіру реакциялары үшін тиімді Mo және W құрамды катализаторларды әзірлеу және зерттеу, синтез әдістері мен термиялық өңдеу температураларының олардың құрылымдық, электрондық және каталитикалық қасиеттеріне әсерін анықтау. Зерттеу сутегі энергетикасы мен су электролизі жүйелерінде қолдануға жарамды, жоғары белсенділікке және тұрақтылыққа ие құрылымдарды анықтауға бағытталған.

Эксперименттік бөлім

Катализаторларды дайындау

MoS_2/MoO_3 нанопластинкалары бір сатылы гидротермиялық синтез әдісі арқылы синтезделді [14]. MoO_3 (2.159 г) (молибден триоксид, ≥99.5%, Sigma-Aldrich) және деионизацияланған су (5.1 г) су ерітіндісі 30 минут бойы араластырылды, содан кейін тиоурея (7.98 г) (CH_4N_2S, ≥99%, Sigma-Aldrich) қосылып, тағы 15 минут араластырылды, нәтижесінде pH-ы 2.6 болған ерітінді алынды. Гель 180ºC-де 24 сағат бойы тефлонмен қапталған автоклавқа орналастырылды. Содан кейін қатты зат суға жуылып, 80ºC-де пеште түнгі уақытқа кептірілді. Соңында қатты заттар 240-320 ºC аралығында азот атмосферасында 3 сағат бойы жылытылды. Үлгілер MoS-Ax деп аталды, мұндағы x – жылу өңдеу температурасы.

Салыстыру үшін дайындық процедурасындағы өзгерістер де қарастырылды. Осылайша, MoO_3 (4.313 г) және деионизацияланған су (10.0 г) ерітіндісі 30 минут араластырылды, содан кейін тиоурея (15.94 г) қосылып, тағы 15 минут араластырылды, нәтижесінде pH-ы 2.8 ерітінді алынды. Гель 180ºC-де 24 сағат бойы автоклавқа орналастырылды. Қатты зат суға жуылып, 80ºC-де пеште түнгі уақытта кептірілді. Соңында қатты зат 300 ºC-де азот атмосферасында 3 сағат бойы жылытылды. Бұл үлгі MoS-AL300 деп аталды.

W-элементін қамтитын материалдар да A-сериясымен ұқсас синтез әдісі арқылы дайындалды. Осылайша, титан оксидінің су ерітіндісі (3.4467 г), тиоурея (8.0 г) және деионизацияланған су (5.0 г) дайындалып, 30 минут араластырылды, нәтижесінде pH-ы 3.7 болды. Алынған суспензия тефлонмен қапталған автоклавқа құйылып, 180ºC-де 24 сағат қыздырылды. Қатты зат көп суға жуылып, 80ºC-де пеште түнгі уақытта кептірілді. Соңында қатты зат 300 ºC-де азот атмосферасында 3 сағат бойы жылытылды. Бұл үлгі WO-C300 деп аталды. Салыстыру үшін, гексагональді вольфрам брокені төмендегі дайындық әдісі бойынша дайындалды. Аммоний вольфраматы (0.706 г) ($(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40}\cdot xH_2O$, ≥99%, Alfa Aesar), тиоурея (0.768 г) және деионизацияланған су (30 г) ерітіндісі дайындалып, 30 минут араластырылды. Содан кейін оксал қышқылы (0.2025 г) ($H_2C_2O_4$, ≥98%, Merck) қосылып, тағы 20 минут араластырылды, нәтижесінде pH-ы 1.45 болды. Алынған суспензия тефлонмен қапталған автоклавқа құйылып, 200ºC-де 24 сағат қыздырылды. Температурасы бөлме жағдайына дейін түсірілген соң, қара қатты зат алынып, деионизацияланған сумен жуылып, 60ºC-де пеште түнгі уақытта кептірілді. Соңында үлгі 300 ºC-де азот атмосферасында 3 сағат бойы жылытылды. Бұл үлгі WO-D300 деп аталды.

MoS@Nf (129-300; 129-240; немесе 129-320) (130-300) және WO@CB@Nf (145-300, 149-300) сия композиттерін дайындау

Электрод өнімділігіне сия құрамдастарының әсерін зерттеу үшін үш түрлі катализатор сиясы қолданылды. Бірінші протокол бойынша, суспензия келесі компоненттерді араластыру арқылы дайындалды: 5.0 мг MoS_2 немесе WOx, 3.0 мг көміртек қара (CB) (≥99.9%, Alfa Aesar), 45.0 мл дистилденген су және 135.0 мл этанол (≥99.8%, Merck). Дайын сияларды электродты модификациялау үшін суспензияларды біркелкі таралуға дейін бір сағат ультрадыбыстық өңдеуден өткізді. Көміртек мата (CC) электродтары микросерпентин арқылы дайын суспензиялармен қапталды. Қапталған электродтар қажетті катализатор жүктемесіне қол жеткізу үшін бөлме температурасында азот атмосферасында кептірілді. Салыстыру мақсатында MoS_2 немесе WOx катализатор ұнтағының орнына HER үшін Pt және OER үшін RuO_2 катализаторлары қолданылып, сия дайындау мен электродты қаптау протоколдары дәл солай жүргізілді.

Катализатор сиппаттамасы

Катализаторлардың Раман спектрлері Olympus микроскопы бар Renishaw 1000 InVia спектроскопымен алынды. Жарық көзі ретінде 514.5 нм толқын ұзындығы бар 20 Вт Ar^+ лазері қолданылды, спектр шешімі <4 $см^{-1}$, 10 рет сканерлеу жасап, жалпы жинау уақыты 100 секунд болды. Үлгілердің 200-800 нм диапазонындағы УФ-көрінетін спектрлері Varian Cary 5000

спектрометрінде жазылды. Өлшемдер Валенсия политехникалық университетінің (UPV) микроскопиялық қызметінде жүргізілді.

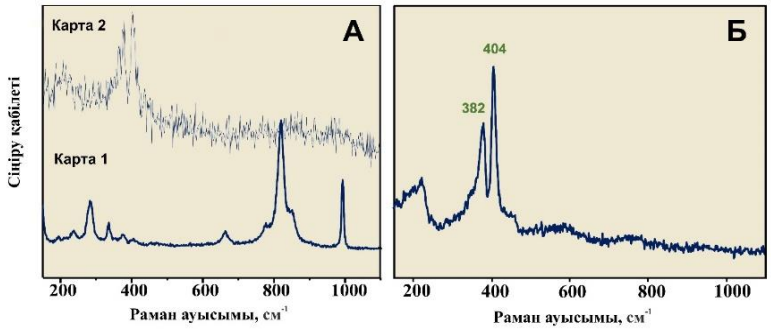
Нәтижелер мен талқылаулар

1-кестеде катализаторлардың кейбір физика-химиялық сипаттамалары көрсетілген.

Кесте 1 – Катализаторлардың физика-химиялық сипаттамалары

Катализаторлар	Дайындау әдісі	Термиялық өңдеу (ºС)	Кристалды фазалар
MoS-A240	MoS-A	240	$MoO_3 > MoS_2$
MoS-A300	MoS-A	300	$MoS_2 > MoO_3$
MoS-A320	MoS-A	320	MoS_2
MoS-AL300	MoS-AL	300	$MoS_2 > MoO_3$
WO-C300	WO-C	300	$WO_3.H_2O$
WO-D300	WO-D	300	*h*-WO_3

Мо құрамды катализаторларда Mo/S салмақ қатынасы шамамен 0,17 болатын MoS_2 фазасының түзілуі анықталды. Ал W құрамды үлгілерде күкірттің қосылуы байқалмайды, яғни S/W салмақ қатынасы шамамен 0 болып отыр. 1,2-суретте катализаторлардың Раман спектрлері көрсетілген.



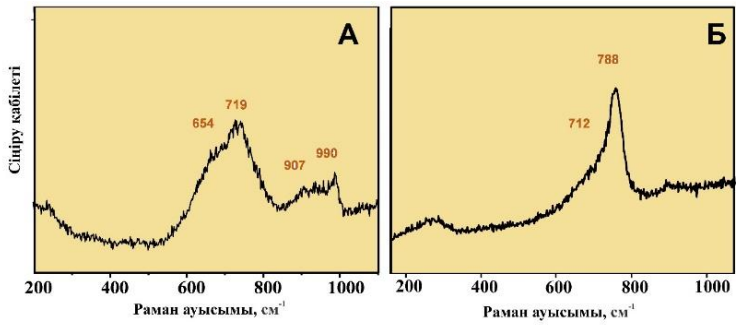
Сурет 1 – Құрамында Мо бар катализаторлардың раман спектрлері
А) MoS-A300 (1-карта және 2-карта); Б) MoS-A320

MoS-A сериялы катализаторларда, 300ºС температурада жылытылған катализатор әртүрлі спектрлерді көрсетеді 1-сурет, спектрлер А: карта 1 және карта 2. Осы жағдайда карта 1 спектрінде 382 және 404 $см^{-1}$-лік жолаулар бар, олар 2H-MoS_2-нің жазықтық ішіндегі $E_{12}g$ және жазықтықтан тыс A_1g тербеліс режимдеріне сәйкес келеді [15-16], ал карта 2 спектрінде 156, 666, 820 және 995 $см^{-1}$-лік жолаулар бар, олар ортогональды MoO_3-ке сәйкес келеді [17] және 382 мен 404 $см^{-1}$-лік тағы бір жолақ MoS_2-ге байланысты. Алайда, 320ºС-де жылытылған MoS-A320 үлгісінде (1Б-сурет) тек бір типті спектр анықталды, ол 382 және 404 $см^{-1}$ жолауларымен сипатталып, MoS_2 кристаллиттерінің негізгі болуын растайды. Осыған ұқсас қорытындыны mos-AL300 катализаторының нәтижелері түрінде ұсынуға болады. MoS2-ге қатысты екі топқа да, MoO3-ке қатысты жолақтарға да қатысты жолақтардың пайда болуымен.

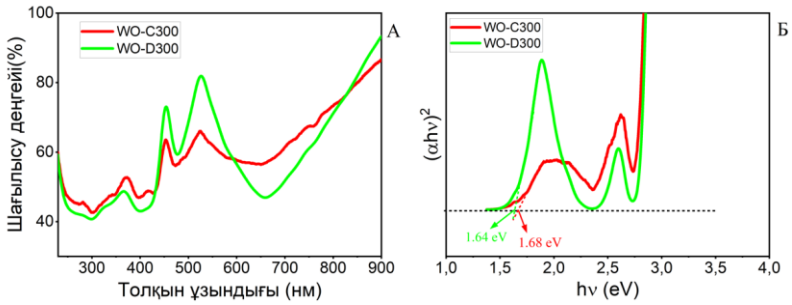
W құрамындағы катализаторларда мүлдем басқа көрініс байқалады (2-сурет). 345-420 $см^{-1}$ аймағында қос пиктің болмауы екі жағдайда да WS_2 кристаллиттерінің жоқтығын растайды [18]. Әрбір жағдайда қолданылған дайындық әдістерінің айырмашылығына байланысты бұл материалдарда үлкен айырмашылықтар байқалады. WO-C300 үлгісінің спектрінде 654, 719, 907 және 990 $см^{-1}$ жолаулары бар (2В-сурет, спектр А), бұл әртүрлі вольфрам оксидтеріне негізделген кристаллиттердің бар екенін көрсетеді. Осылайша, 692 және 798 $см^{-1}$ жолаулары көршілес оттегі атомдарына жатқызылған [υ(O–W–O) $WO_3 \cdot H_2O$ құрамында (мұнда шамамен пиктер)] [19], сонымен қатар пирохлор $(NH_4)xO_3$ фазасына да тән [20]. W-O байланыстарына қатысты жолақтарда да айырмашылықтар бар: WO-C300 үлгісінде 991, 892 және 624 $см^{-1}$, бұл пирохлор $(NH_4)xWO_3$-ке қатысты болуы мүмкін, ал WO-D300 үлгісінде 860 және 805 $см^{-1}$, олар гексагональды h-$(NH_4)WO_3$-ке сәйкес келеді [21].

Сутектің фотокаталиьтикалық түзілуі

MoS_2 және WOx бөлшектерінің су ыдырату процестерінде фотокатализатор ретінде қолданылу мүмкіндігін арттыру үшін олардың оптикалық қасиеттері коллоидты дисперсияларының UV–Vis шағылыстыру спектрлерін қолдана отырып анықталды (3,4-сурет).



Сурет 2 – Құрамында W бар катализаторлардың раман спектрлері.
Үлгілер: А) WO-C300; Б) WO-D300



Сурет 3 – Ультракүлгін сәуледегі (А) WOx және (б) MoS_2 шағылысу коэффициенті.
Коллоидты дисперсияның Tauc графиктері (в) WOx және (г) MoS_2 суда

3-суреттен көрініп тұрғандай, синтездеу әдістері WOx катализаторларының оптикалық жауаптарына әсер етеді, әрқайсысы ерекше, бірақ толығымен әртүрлі жарық сіңіру қасиетіне ие. Өзара салыстырғанда, WO-D300 үлгісінің ультракүлгін және көрінетін аймақтарда бірнеше қарқынды сіңіру шыңдары бар. Соңғы жолақ ұзақ толқындарда орналасып, оның саңылау энергиясы 1.64 эВ-ке тең. Бұдан басқа, WO-D300 үлгісінде шамамен 400 нм-де негізгі қарқынды жолақ бар, оның саңылау энергиясы 2.7 эВ-ге тең. WO-D300-мен салыстырғанда, MoS-AL300 және WO-C300 үлгілерінің саңылау энергиялары жарық сіңіру толқын ұзындығы қысқа жаққа ауысуына байланысты ұлғаяды. Бұл бөлшектердің ең кіші саңылау энергиялары тиісінше 1.68 және 1.92 эВ-де байқалады.

Таук әдісіндегі Кубелка–Мунк функциясы фотокатализаторлардың тыйым салынған аймағының енін анықтау үшін қолданылады.

$(h\upsilon F(R\alpha)^{\wedge}(1/n) = A\times(h\upsilon - E_g)$,

мұндағы, hυ – фотон энергиясы (h – Планк тұрақтысы, υ – тербеліс жиілігі),

α – жұтылу коэффициенті,

Eg – тікелей тыйым салынған аймақтың ені,

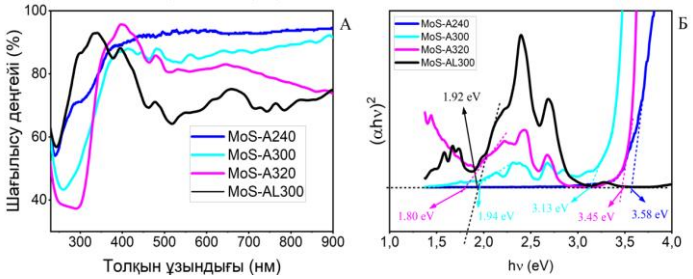
A – тұрақты шама,

n = ½,

R – шағылу қабілеті,

F(R) – жұтылу коэффициентіне (α) пропорционал функция.

Құрылымдағы вольфрамды молибденмен алмастыру осы металл калькогенидтерінің оптикалық қасиеттеріне елеулі әсер етеді.



Сурет 4 – Ультракүлгін сәуледегі MoS2 шағылысу коэффициенті. Коллоидты дисперсияның Tauc графиктері MoS2 суда

4-суреттен көрінетіндей, MoS_2 бөлшектерінің жарық сіңіру қасиеті қыздыру температурасына қатты тәуелді. MoS_2-240 үлгісінде 242 нм толқын ұзындығында сіңіру белдеуі бар және ол жарық спектрінің тек 230-380 нм аралығын сіңіреді. MoS_2-240-ның бұл жоғары энергиялы сіңіру шыңы MoS_2-ның тікелей саңылау энергиясының экситондық сіңіру белдеулерінен туындайды. Қыздыру температурасы артқан сайын бөлшектердің жарық сіңіру аймағы ұзын толқындарға қарай жылжып, жарық спектрінің кеңірек бөлігін сіңіруі күшейеді. MoS_2-320 бөлшектерінде ультракүлгін аймақтағы негізгі белдеуден басқа көрінетін аймақта қосымша сіңіру белдеулері байқалады. 4Б-суреттегі мәлімет бойынша, MoS_2-240 бөлшегінің саңылау энергиясы 3.58 эВ болса, негізгі сіңіру шыңдарына сәйкес саңылау энергиялары MoS_2-300 және MoS_2-320 үлгілерінде тиісінше 3.45 және 3.13 эВ деп есептеледі. Сонымен қатар, MoS_2-300 және MoS_2-320 үлгілерінде 500-600 нм аралығында тағы басқа сіңіру белдеулері бар, олардың саңылау энергиялары тиісінше 1.94 және 1.80 эВ-ге тең. WOx және MoS_2 бөлшектерінің осы оптикалық жауаптары мен саңылау энергиясының өзгерістері ұқсас металл калькогенид құрылымдарымен үйлесімді. Әдебиеттерде MoS_2 құрылымдарының оптикалық қасиеттерінің құрылымдардың морфологиясы мен құрамына қатты байланысты екені кеңінен баяндалған. Мысалы, О. Суруцу және т.б. зерттеушілер MoS_2-ның саңылау энергиясының 300 К-тен 10 К-ге дейінгі температураның төмендеуіне байланысты 1.66-дан 1.71 эВ-ге артқанын хабарлаған [22]. Басқа бір зерттеуде, З. Жлиди және әріптестері MoS_2 наноқабаттарының оптикалық саңылау энергиясын 2.21 эВ деп анықтап, бұл саңылау энергиясының наноқабаттарды қалыптастыру температурасына байланысты өзгеретінін көрсетті [23] .

MoS_2 және WOx бөлшектерінің фотокаталитикалық белсенділігі осы бөлшектердің 0,35 моль/дм³ Na_2S және 0,25 моль/дм³ Na_2SO_3 суда еріген қоспасындағы коллоидтық дисперсияларын пайдаланып зерттелді. Бұл қоспа құрбандық электролиті ретінде қызмет етіп, фотокаталитикалық сутегі түзілу реакциялары (HER) барысында қолданылды (pH=13,0) және зерттеулер үй жағдайында жасалған фотокаталитикалық реакторда жүргізілді. Дисперсия 1000 Вт/м² (1 күн сәулесі) жарық күштілігімен күн симуляторымен жарықтандырылды, ал түзіліп жатқан сутегі газының мөлшері уақыт бойынша тіркелді. 2-кестеде сутектің түзілу көлемінің уақытқа тәуелділігі көрсетілген.

Кесте 2 – Сутектің түзілу көлемінің уақытқа тәуелділігі

Catalyst	Сутектің түзілу көлемі, мл/сағ·г					
	30 мин	60 мин	90 мин	120 мин	150 мин	180 мин
MoS-A240	5	10	18	25	28	31
MoS-A300	10,3	17	21	27	32	39
MoS-A320	20	41	52	60	75	83
MoS-AL300	6	8	11	19	23	30
WO-C300	13,8	19	28	33	38	41
WO-D300	0	0	0	1	2	2

Кесте мәліметтері бойынша, MoS_2 және WOx фотокатализаторларының сутегі түзілу жылдамдықтары елеулі түрде өзгереді. WO-D300 үлгісінде сутегі түзілу өте аз байқалады, ал MoS-AL300 үлгісі үшін сутегі түзілу жылдамдығы сағатына граммына 10,3 мл-ге, ал WO-C300 үшін 13,8 мл-ге дейін артады. Бұл көрсеткіштер сәйкесінше 0,42, 0,56 және 0,086 ммоль/сағ·г-ге тең. WS_2 бөлшектерінің фотокаталитикалық белсенділік реті мынадай: WO-C300 > MoS-AL300 > WO-D300. Фотокаталитикалық белсенділікке таспалық жарық жұту энергиясының (band gap) әсерін қарастырғанда, сутегі түзілу жылдамдығының реті тура таспалық жарық жұту энергиясының ретімен сәйкес келмейтіні анық байқалады. WO-D300 үлгісінің таспалық жарық жұту энергиясы ең төмен болғанымен, оның сутегі түзілу белсенділігі басқа үлгілерге қарағанда әлдеқайда төмен. Бұл нәтижелер таспалық жарық жұту энергиясынан бөлек, бөлшектердің құрамының, морфологиясының, кристалл құрылымының және бөлшек өлшемінің фотокаталитикалық белсенділікке әсер ететін маңызды факторлар екенін көрсетеді. Молибденнің құрылымдарға әсерін зерттеу мақсатында, MoS_2 бөлшектері де сутегі түзілу реакциясының фотокатализаторы ретінде сынақтан өткізілді. Кестеде көрсетілгендей, annealing (температурада өңдеу) температурасының өсуімен сутегі түзілу жылдамдығы да артады, ең жоғарғы көрсеткіш MoS-A320 үлгісінде – сағатына граммына 28,40 мЛ. Сәйкес

сутегі түзілу жылдамдықтары реті мынадай: MoS-A320 > MoS-A300 > MoS-A240, яғни сәйкесінше 0,71, 0,74 және 1,16 ммоль/сағ·г. Фотокатализаторлардың тұрақтылығын зерттеу үшін, әр фотокатализатордың көрсеткіштері қайта қалпына келтірілгеннен кейін бес рет сынақтан өткізілді. Нәтижелер барлық фотокатализаторлар бес рет қолданғаннан кейін бастапқы өнімділігінің 90%-нан астамын сақтап қалатынын көрсетеді. Ең жоғары тұрақтылық MoS-A320 бөлшектерінде байқалды – бес сынақтан кейін өнімділіктің 93%-ы сақталды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Осы жұмыста Mo және W құрамды фотокатализаторлар сәтті синтезделіп, олардың физика-химиялық, құрылымдық және оптикалық қасиеттері жүйелі түрде зерттелді. MoS_2 негізіндегі катализаторлар, әсіресе 320 ºC температурада өңделген MoS-A320 үлгісі, сутегі өндіруде жоғары белсенділік көрсетіп, бұл материалдың болашағы зор екендігін дәлелдеді. Ал WOx құрылымдары арасында WO-C300 салыстырмалы түрде жоғары белсенділік көрсеткенімен, WO-D300 төмен нәтижелер көрсетті. MoS-A320 құрылымымен 1.16 ммоль сағ$^{-1}$ г$^{-1}$ сутек өндіру жылдамдығы жақсы тұрақтылықпен қамтамасыз етілсе, WS_2 құрылымдарымен ең көп дегенде 0.56 ммоль сағ$^{-1}$ г$^{-1}$ сутек эволюциясы байқалды. Бұл нәтижелер фотокатализаторлардың тиімділігіне тек таспалық саңылау энергиясы ғана емес, сонымен қатар құрылым, морфология және фазалық құрам сияқты факторлардың кешенді әсер ететінін көрсетеді. Жұмыстың нәтижелері экологиялық таза және жаңартылатын энергия көзі ретінде сутекті өндіруде арзан әрі тиімді катализаторларды жасау жолында маңызды ғылыми негіз болып табылады. Болашақта алынған мәліметтер MoS_2 және WOx негізіндегі гибридті немесе композициялық материалдарды жасауға бағытталған қосымша зерттеулерге негіз бола алады. Барлық катализаторлар қайта сынау кезінде тұрақты белсенділік сақтады, бұл олардың практикалық қолдануға жарамдылығын көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Kayfeci M. Hydrogen production, Solar hydrogen production / M. Kayfeci, A. Keçebaş, M. Bayat // Elsevier. – 2019. – P. 45-83.
2. Kumar S.S. An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production / S.S. Kumar, H. Lim // Energy reports. – 2022. – № 8. – P. 13793-13813.
3. Recent advancement and assessment of green hydrogen production technologies / B.S. Zainal et al // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2024. – № 189. – P. 113941.
4. Solvothermal synthesis of metallic 1T-WS2: a supporting co-catalyst on carbon nitride nanosheets toward photocatalytic hydrogen evolution / J. Yi et al // Chem. Eng. J. – 2018. – № 335. – P. 282-289. https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.10.125.
5. One-step synthesis of MoS2/WS2 layered heterostructures and catalytic activity of defective transition metal dichalcogenide films / J.M. Woods et al // ACS Nano. – 2016. – № 10. – P. 2004-2009. https://doi.org/10.1021/acsnano.5b06126.
6. Supercritical CO2-assisted reverse-micelle-induced solution-phase fabrication of two-dimensional metallic 1T-MoS2 and 1T-WS2 / X. Tong et al // ChemNanoMat. – 2017. – № 3. – P. 466-471. https://doi.org/10.1002/cnma.201700011.
7. Hydrothermal synthesis of stable metallic 1T phase WS2 nanosheets for thermoelectric application / M. Piao et al // Nanotechnology. – 2017. – № 29. – P. 025705. https://doi.org/10.1088/1361-6528/aa9bfe.
8. Stable metallic 1T-WS2 nanoribbons intercalated with ammonia ions: the correlation between structure and electrical/optical properties / Q. Liu et al // Adv. Mater. – 2015. – № 27. – P. 4837-4844. https://doi.org/10.1002/adma.201502134.
9. Highly effective visible-light-induced H2 generation by single-layer 1T-MoS2 and a nanocomposite of few-layer 2H-MoS2 with heavily nitrogenated graphene / U. Maitra et al // Angew. Chem. Int. Ed. – 2013. – № 52. – P. 13057-13061. https://doi.org/10.1002/anie.201306918.
10. Amorphous molybdenum sulfide as highly efficient electron-cocatalyst for enhanced photocatalytic H2 evolution / H. Yu et al // Appl. Catal. B. – 2016. – № 193. – P. 217-225. https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.04.028.
11. Assembling metallic 1T-MoS2 nanosheets with inorganic-ligand stabilized quantum dots for exceptional solar hydrogen evolution / X.B. Li et al // Chem. Commun. – 2017. – № 53. – P. 5606-5609. https://doi.org/10.1039/C7CC02366A.
12. Wafer-Scale Oxygen-Doped MoS2 Monolayer / Z. Wei et al // Small Methods. – 2021. – № 5. – P. 2100091.

13. 1T-MoS2 Coordinated Bimetal Atoms as Active Centers to Facilitate Hydrogen Generation / Q. Peng et al // Materials. – 2021. – № 14. – P. 4073.
14. Effect of O2 Plasma Modification on the Electrocatalytic Hydrogen Evolution Reaction of MoS2 / C. Zhang et al // J. Catal. – 2018. – № 361. – P. 384-392, https://doi.org/10.1016/j.jcat.2018.03.018.
15. Boosting Hydrogen Evolution on MoS2 via Co-Confining Selenium in Surface and Cobalt in Inner Layer / Z. Zheng et al // Nat. Commun. – 2020. – № 11. – P. 3315. https://doi.org/10.1038/s41467-020-17199-0.
16. Zamharir S.G. Laser-assisted tunable optical nonlinearity in liquid-phase exfoliated MoS2 dispersion / S.G. Zamharir, R. Karimzadeh, S.H. Aboutalebi // Appl. Phys. A 124. – 2018. – P. 692.
17. In Situ Raman Spectroscopy of H2 Gas Interaction with Layered M / J. Zhen Ou et al // J. Phys. Chem. – 2011. – C 115. – P. 10757-10763.
18. Optical signature of symmetry variations and spin-valley coupling in atomically thin tungsten dichalcogenides / H. Zeng et al // Sci Rep. – 2013. – № 3. – P. 1608.
19. Parthibavarman M. Role of Microwave on Structural, Morphological, Optical and Visible Light Photocatalytic Performance of WO3 Nanostructures / M. Parthibavarman, M. Karthik, S. Prabhakaran // J Cluster Sci. – 2019. – № 30.– P. 495-506.
20. Synthesis and mixed conductivity of ammonium tungsten bronze with tunneling structures / L. Huo et al // Solid State Sci. – 2004. – № 6. – P. 679-688.
21. Photochromic hierarchical $(NH_4)xWO_3$ nanocrystals with bronze tunnel structure for energy-saving windows / X. Dong et al // Chem. Eng. J. – 2023. – № 477. – P. 147064.
22. Temperature-tuned band gap properties of MoS2 thin films Materials Letters / O. Surucu et al. – V. 275. – 2020. – P. 128080.
23. Temperature effect on structural, morphological and optical properties of 2D-MoS2 layers: An experimental and theoretical study. Zaineb Jlidi et al // Optik. V. 228. – 2021. – P. 166166.

Қаржыландыру

Жұмыс AP23486934 «Металл дисульфидтері мен мұнай порфириндерінің композиттерін қолдану арқылы сутегі алудың тиімді жаңа фотокаталитикалық жүйелерін жасау» жоба аясында орындалды.

Ж.М. Мылтықбаева[1*], Д. Мұқталы[1], Е.И. Иманбаев[2], А. Абылайхан[1], Б.Х. Мусабаева[3]
[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, Алматы, пр. Аль-Фараби, 71
[2]Институт проблем горения,
Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 172
[3]Международный университет Астана,
Республика Казахстан, г. Астана, проспект Кабанбай батыра, 8
[*]e-mail: jannur81@mail.ru

СТАБИЛЬНОСТЬ КАТАЛИЗАТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

Данное исследование направлено на повышение эффективности и стабильности катализаторов, содержащих молибден (Mo) и вольфрам (W), в процессе фотокаталитического получения водорода. Изучены их структурные, электронные, оптические и каталитические свойства. Разработка недорогих и активных катализаторов для производства «зеленого» водорода является одной из важнейших задач в области энергетики и экологии современности. В ходе работы катализаторы на основе MoS_2 и WOx были синтезированы гидротермальным методом и подвергнуты термической обработке при различных температурах. Их структурные, морфологические и оптические характеристики были всесторонне исследованы с использованием современных методов, таких как спектроскопия Рамана и UV-Vis. Реакции получения водорода проводились с использованием специально созданного солнечного симулятора, по результатам которых была оценена фотокаталитическая активность и стабильность катализаторов. Наиболее высокую активность и стабильность показал образец MoS-A320, обеспечивший выход водорода 83 мл/ч·г и сохранивший 93% активности после пяти циклов. Эти показатели сопоставимы с эффективностью платиновых катализаторов. В то же время катализаторы на основе WOx продемонстрировали сравнительно низкую активность. Результаты исследования показали, что параметры синтеза и условия термической обработки существенно влияют на

свойства катализаторов на основе Mo и W. Данная работа представляет собой важный шаг на пути разработки эффективных, стабильных и доступных катализаторов для систем «зеленой» энергетики и водного электролиза. Исследование открывает новые возможности для проектирования недорогих и эффективных катализаторов на основе Mo и W.

***Ключевые слова**: оксид MoS_2, WS_2, реакция эволюции водорода, сульфидизация, гетерогенный катализ.*

Zh.K. Myltykbaeva[1*], D. Muktaly[1], Y.I. Imanbayev[2], A. Abylaikhan[1], B. Mussabayeva[3]
[1]Al-Farabi Kazakh National University,
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, 71 Al-Farabi Avenue
[2]Institute of Combustion Problems,
Republic of Kazakhstan, Almaty, 172 Bogenbay Batyr Street
[3]Astana International University,
Republic of Kazakhstan, Astana, Kabanbay Batyr Avenue, 8
[*]e-mail: jannur81@mail.ru

STABILITY OF CATALYSTS IN THE PROCESS OF PHOTOCATALYTIC HYDROGEN PRODUCTION

This study focuses on enhancing the efficiency and stability of catalysts containing molybdenum (Mo) and tungsten (W) in the process of photocatalytic hydrogen production. Their structural, electronic, optical, and catalytic properties were thoroughly investigated. The development of low-cost and active catalysts for green hydrogen production is one of the key challenges in modern energy and environmental science. In this work, MoS_2- and WOx-based catalysts were synthesized via a hydrothermal method and subjected to thermal treatment at various temperatures. Their structural, morphological, and optical characteristics were comprehensively analyzed using advanced techniques such as Raman spectroscopy and UV-Vis. Hydrogen production reactions were carried out using a specially designed solar simulator, and the photocatalytic activity and stability of the catalysts were evaluated. The MoS-A320 sample demonstrated the highest hydrogen evolution activity (83 mL/h·g) and maintained 93% of its initial performance after five cycles, which is comparable to that of platinum-based catalysts. In contrast, WOx-based catalysts showed relatively lower activity. The results revealed that synthesis parameters and thermal treatment conditions have a significant influence on the properties of Mo- and W-based catalysts. This study represents an important step toward the development of efficient, stable, and affordable catalysts for green energy systems and water electrolysis. The findings offer new opportunities for designing cost-effective and high-performance Mo- and W-based catalysts.

***Key words:** MoS_2 oxide, WS_2, hydrogen evolution reaction, sulfidation, electrocatalyst, heterogeneous catalysis.*

Авторлар туралы мәліметтер

Жаннұр Каденқызы Мылтықбаева – х.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ Жаңа химиялық технологиялар мен материалдар ғылыми-зерттеу институты Қазба отындары мен оларды өңдеу өнімдерін зерттеу және кешенді талдау зертханасының меңгерушісі; e-mail: jannur81@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4336-3920.

Динара Мұқталы – PhD, Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ Жаңа химиялық технологиялар мен материалдар ғылыми-зерттеу институты жетекші ғылыми қызметкері; e-mail: dinara.muktaly@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1139-5488.

Ержан Иманбайұлы Иманбаев – PhD, қауымдастырылған профессор, Жану проблемалары институты жетекші ғылыми қызметкері; e-mail: erzhan.imanbayev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8273-0020.

Ақерке Абылайхан – х.ғ.к., Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ Жаңа химиялық технологиялар мен материалдар ғылыми-зерттеу институты жетекші ғылыми қызметкері; e-mail: akerkeabylaikhan2@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1489-9603.

Бинур Мусабаева – х.ғ.к., профессор, Астана Халықаралық университеті; e-mail: mussabayevabinur@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2209-1209.

Сведения об авторах

Жаннур Каденовна Мылтыкбаева – к.х.н., Ассоциированный профессор, заведующей лабораторией исследования и комплексного анализа горючих ископаемых и продуктов их переработки научно-исследовательского института новых химических технологий и материалов КазНУ им. аль-Фараби; e-mail: jannur81@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4336-3920.

Динара Мұқталы – PhD, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского института новых химических технологий и материалов КазНУ им. аль-Фараби; e-mail: dinara.muktaly@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1139-5488.

Ержан Иманбаевич Иманбаев – PhD, Ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем горения; e-mail: erzhan.imanbayev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8273-0020.
Акерке Абылайхан – к.х.н., ведущий научный сотрудник научно-исследовательского института новых химических технологий и материалов КазНУ им. аль-Фараби; e-mail: akerkeabylaikhan2@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1489-9603
Бинур Мусабаева – к.х.н., профессор, Международный университет Астана; e-mail: mussabayevabinur@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2209-1209

Information about the authors

Zhannur Kadenovna Myltykbayeva – PhD, Associate Professor, Head of the Laboratory for Research and Comprehensive Analysis of Fossil Fuels and Products of Their Processing at the Scientific Research Institute for New Chemical Technologies and Materials at Al-Farabi KazNU; e-mail: jannur81@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4336-3920.
Dinara Muktaly – PhD, Leading Researcher at Scientific Research Institute for New Chemical Technologies and Materials at Al-Farabi KazNU; e-mail: dinara.muktaly@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1139-5488.
Yerzhan Imanbaiuly Imanbayev – PhD, Associate Professor, Leading Researcher at Institute of Combustion Problems; e-mail: erzhan.imanbayev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8273-0020.
Akerke Abylaykhan – PhD, Leading Researcher at Scientific Research Institute for New Chemical Technologies and Materials at Al-Farabi KazNU; e-mail: akerkeabylaikhan2@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1489-9603.
Binur Mussabayeva – PhD, Professor, Astana International University; e-mail: mussabayevabinur@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2209-1209.

Редакцияға енуі 14.08.2025
Өңдеуден кейін түсуі 18.08.2025
Жариялауға қабылданды 19.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-64

CC BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 61.51.91

С.К. Танирбергенова[1,2], А.Ж Тагаева[1], Д.А. Тугелбаева[2,*], Н.К. Жылыбаева[2], З.А. Мансуров[2]
[1]Алматы технологиялық университеті,
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Төле би көш, 100
[2]ҚР ҒЖБМ ҒК «Жану проблемалары институты» ШЖҚ РМК
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Бөгенбай батыр көш, 172
*e-mail: dilya.12@mail.ru

МҰНАЙ ШЛАМДАРЫН ҚАЙТА ӨҢДЕУ ПРОЦЕСІНЕ УЛЬТРАДЫБЫСТЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: *Мұнай шламдары – мұнай өндіретін аймақтарда түзілетін зиянды қалдықтар. Мұнай шламының қалдықтарын өңдеу мұнай және мұнай-химия өнеркәсібі үшін өзекті мәселелердің бірі болыптабылады. Бұл мақалада мұнай шламдарын қайта өңдеу процессі кезінде жеңіл өнімдердің түзілуіне ультрадыбыстың әсері зерттелді.*

Зерттеу барысында, мұнай шламынан сапасы жоғары өнімдерді бөліп алу әдістері зерттелді. Мұнай шламын өңдеу үшін еріткіштер таңдалды. Еріткіштердің әсерін анықтау үшін еріткіш қолданбай, ультрадыбыстық өңдеу жүргізілді. Өңделген мұнай шламын айдау процесі 65°С-250°С температура аралығында Сокслет аппаратында жүргізілді. Экстракция процесінің сапасына температура, уақыт және еріткіштің қатынасы сияқты әртүрлі параметрлердің әсері анықталды. Газды хроматография әдісін қолдана отырып, әр түрлі еріткіштермен ерітілген мұнай шламын айдау кезінде алынған жеңіл көмірсутектердің құрамы анықталды. Алынған нәтижелерге байланысты, еріткіш ретінде 1:1 қатынастағы гептан:бензол және гептан:толуол қоспалары таңдалды. Сонымен қатар, мұнай шламының компоненттік құрамын газохроматографиялық зерттеулердің нәтижелері және еріткіштердің салыстырмалы талдауы ұсынылды. Жеңіл

көмірсутектердің максималды шығымы 40,9%-ға, ароматты көмірсутектер 57,2%-ға жетті. Осыған байланысты, мұнай шламын мотор отындарын өндіру үшін шикізат ретінде қарастыруға болады. Ұсынылып отырған технология мұнай шламынан ұшқыш заттарды жоғалтпай тауарлық өнім алуға болатынын көрсетті. Сонымен қатар, осы процестің және алынған өнімдердің қоршаған ортаға зиян келтірмейтіні анықталды.

Түйін сөздер: *мұнай, мұнай шламының қалдықтары, қайта өңдеу, мотор отыны, ультадыбыстық өңдеу.*

1 Кіріспе

Көптеген елдерде мұнай мен газ сияқты табиғи ресурстар экономикалық маңызды рөл атқарады. Мұнайды өндіру, тасымалдау және сақтау «қажетсіз» қалдықтардың – мұнай шламының жинақталуына әкеледі, олар арнайы қоймаларда сақталады және жинақталады. Жыл сайын мұнай өндіру аймақтарында қалдықтарға арналған қоймалар саны артып келеді. Мұнай шламының резервуарлар мен бассейндерде жинақталуы экологияға теріс әсер етеді. Осыған байланысты мұнай өнеркәсібіндегі мұнай қалдықтарын кәдеге жаратудың қауіпсіз әдісін табу және оны қажетті өнім алу үшін пайдалану жолдарын айқындау негізгі мәселе [1].

Қазіргі уақытта мұнай – өнеркәсіптің барлық саласында үлкен сұранысқа ие. Мұнайға сұраныстың жоғарылауы мұнай өндірісінде өзіндік мәселелерді тудырады. Бүгінгі таңда мұнай өңдеу өнеркәсібіндегі өзекті мәселе – кеңістік пен аумақты алып жатқан, жиналатын және ұзақ уақыт сақталатын мұнай шламын кәдеге жарату [2]. Мұнай қалдықтары атмосфераны ластап, топырақтың құрылымына зиян келтіреді, судың құрамында зиянды органикалық заттардың жиналуына әкеледі. Флора мен фауна сарқылады, аймақтың экожүйесінің тұтастығы бұзылады. Экожүйенің бұзылуы ауыр ауруларды, мысалы, организмнің мутациясын, онкологиялық аурулардың көбеюін, ми ауруларын тудырады, организмге тератогендік әсер етеді, бедеулікті арттырады. Сондықтан мұнай өнеркәсібі үшін өндіріс қалдықтарының қоршаған ортаға теріс әсерін азайту және мұнайды өңдеу тереңдігін арттыру, мұнай шламдарын жою және қайта өңдеу маңызды мәселе болып табылады. Мұнай шламдарын өңдеу кезінде мотор отындарын, құрылыс жұмыстарына қажетті заттар, ауыл шаруашылығында қолданылатын әртүрлі органикалық заттарды алуға болады. Мұнай өнеркәсібін дамытумен қатар, ғалымдар мұнай қалдықтарының қоршаған ортаға зиянды әсерін азайтуға бағытталған және мұнай шламдарын қайта өңдеудің жаңа тәсілдері мен әдістерін және қолжетімді технологиясын қарастыруда [3].

Сонымен қатар, бүкіләлемдік көміртексіздендіру бағдарламасының талабына сәйкес мұнай өндірісіндегі қосарлана түзілетін мұнай шламдарын өңдеу және кәдеге жарату, осы мәселелердің шешімі болып табылады.

Бұл жұмыста ультрадыбыстық өңдеудің мұнай шламдарын қайта өңдеу кезінде жеңіл өнімдерді алуға әсері қарастырылды. Зерттеу нысаны ретінде қоймалық мұнай шламы таңдалды. Қоймалық мұнай шламы қою консистенцияға ие және жоғары жабысқақтықпен сипатталады. Сондай-ақ құрамында механикалық қоспалары бар. Осыған байланысты оны тікелей қайта өңдеу және отынның құрамдас бөлігі ретінде пайдалану қиын. Біз ұсынған әдіс мұнай өңдеу саласы кәсіпорындарының техногендік жүктемесін азайта отырып, мұнай шламының қалдықтарын қайта өңдеуді және толық тазартуды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

2 Зерттеу материалдары мен әдістері

2.1 Мұнай сынамаларын алу

Мұнай шламының үлгілері ISO 3170:2004 «Сұйық мұнай өнімдері. Қолмен сынама алу». стандарты бойынша Өзен кен орны мұнай шламынан алынды.

2.2 Зерттеу үшін үлгіні дайындау:

Еріткіш ретінде гептан мен екі түрлі көмірсутек қоспасы (гептан:бензол және гептан:толуол) 1:1 қатынасында [4] қолданылды. Мұнай шламының 300 г өлшеніп конустық колбаға салынды, үстінен 1:1 қатынаста еріткіш көмірсутек құйылды. Мұнай шламы мен еріткіш толық араласқанша шейкер көмегімен 15-20 минут мұқият араластырылды. Толық араласқан біртекті ерітінді 1,5-2 сағат тұндырылды. Тұндырылған ерітіндіні сүзгіштен өткізіп, қатты қоспалардан тазартылды [5].

2.3 Ультрадыбыстық өңдеу

Тазартылғаннан мұнай шламы МЛУК-3/22-ОЛ көп функционалды зертханалық ультрадыбыстық кешенін қолданып ультрадыбыспен өңделді [6].

Еріткіш-мұнай шламы қоспасына [7] ультрадыбыстық өңдеудің күші мен әсер ету уақыты зерттелді. Ультрадыбыстық өңдеудің жиілігі [8] мен уақыты көмірсутек қалдықтарының құрамына байланысты әр түрлі болады. Эксперименттер бөлме температурасында және атмосфералық қысымда жүргізілді. Ультрадыбыстық өңдеуден кейін 10-15 минут ішінде алынған қоспа Сокслет аппаратына ауыстырылды.

2.4 Қатты үлгідегі еритін компоненттердің мөлшерін Сокслет әдісімен анықтау

Сокслет аппаратының көмегімен мұнай шламының бірнеше түрдегі экстрактілерін алуға болады. Жеңіл ерітінділерді алу шикізаттан мотор отындарын өндіруге қажетті қысқа тізбекті көмірсутектерді барынша бөліп алуға мүмкіндік береді. Ультрадыбыстық өңдеуден өткен үлгіні экстракциялау 65-250°С температура аралығында жүргізілді. Әр температурада бөлінген фракциялар жеке жиналып, газ хроматографында зерттелді.

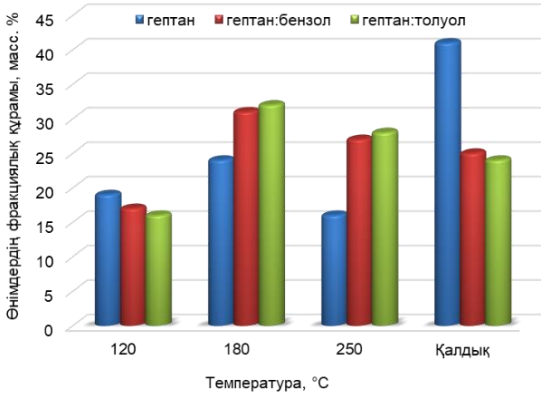
2.5 Үлгілерді масс-спектрометриялық детекторы бар газ хроматографында талдау

Алынған дистиллят өнімдері газды хроматография масс - спектрометрия әдісімен (Agilent 7890A/5975C, АҚШ) талданды. Талдау шарттары: сынама көлемі – 0,2 мкл, сынаманы анықтау температурасы – 250 °С. Зерттеу үлгілеріне ұзындығы – 30 м, ішкі диаметрі – 0,25 мм, жабын қалыңдығы – 0,25 мкм капилярлық колонкада үздіксіз гелий ағынында талдау жүргізілді. Тасымалдаушы газ, яғни гелийдің берілу жылдамдығы – 1 мл/мин [9-10].

3 Алынған нәтижелер және оларды талқылау

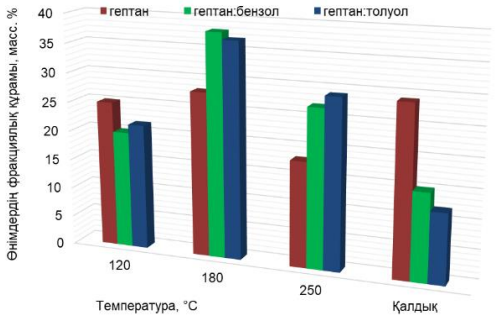
Ультрадыбыстық өңдеудің әсерін зерттеу үшін әртүрлі еріткіштер қолданылды. Мұнай шламы құрамындағы механикалық қоспалардан ИСО бойынша тазартылды. Шламды еріткішпен және еріткішсіз Сокслет құрылғысында атмсофералық айдау жүргізілді. Алдын ала ерітпей айдау кезінде шламның құрамынан жеңіл көмірсутектер өте аз мөлшерде бөлінді. Айдаудан кейін алынған үлгінің 70%-ға жуығы колба түбінде қалды. Зерттеу барысында шламның құрамынан әртүрлі еріткіштер арқылы қажетті және бағалы өнімдер алуға болатынын анықтадық. Қанықкан көмірсутектермен экстракциялап және ультрадыбыстық өңдегенде жеңіл көмірсутекттердің бөлінуі 35-40%-ға артты.

Мұнай шламын ультрадыбыстық өңдеусіз айдау кезінде жеңіл фракциялардың шығуының температураға және еріткіштер құрамына тәуелділігі 1-ші сурет көрсетілген. Суреттен көріп тұрғанымыздай, еріткіш ретінде гептан қолданылғанда көмірсутек қалдығының шығымы 40%-ды құрайды. Ал гептан:бензол және гептан:толуол қоспаларында 1:1 қатынасында шығым тиісінше 24% және 23%-ды құрайды. 180 °С температурада бөлінген фракцияның шығымы гептан:бензол еріткішінде 31%, ал гептан:толуол еріткішінде 32% болды. Мұнай шламын пайдалы өнімдерді бөліп алғаннан кейінгі қалдық мөлшері гептан:бензол еріткішінде 23 %, гептан:бензол еріткішінде 21 %, гептан еріткішінде 40 %-ды құрайды.



Сурет 1 – Өнімдердің фракциялық құрамының температураға тәуелділігі

Ультрадыбыстық өңдеуден кейінгі мұнай шламын айдау процесінде жеңіл фракциялардың шығымының температураға тәуелділігі 2-ші суретте берілген. Диаграммадан көріп тұрғанымыздай, ультрадыбыстық өңдеуді пайдаланған кезде мұнай шламының қалдықтарының шығымы төмендейді. Гептанмен 27%, гептан:бензол 15% және гептан:толуол 12% қалдық қалады.

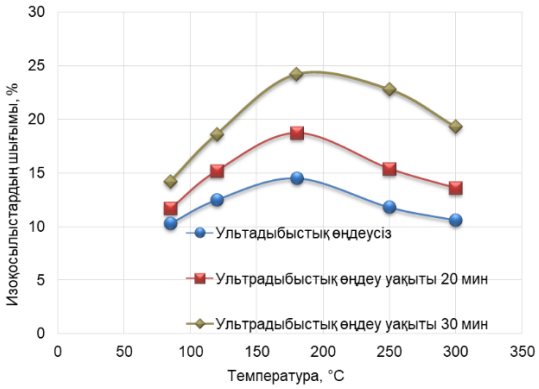


Сурет 2 – Ультрадыбыстық өңдеуден кейінгі өнімдердің фракциялық құрамының температураға тәуелділігі

Сонымен, қалдықтың түзілу мөлшері еріткіштер мен ультрадыбыстық өңдеудің әсеріне тікелей баланысты екендігін 1-ші және 2-ші суреттерден көруге болады.

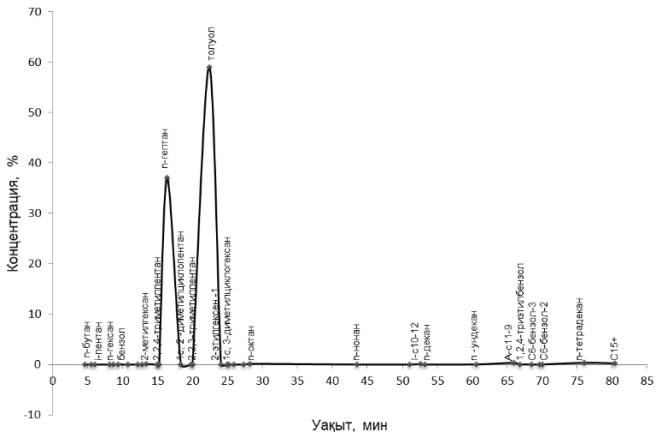
Мұнай шламдарын ультрадыбыстық өңдеу және еріткіштермен сұйылту жеңіл өнімдердің шығымын арттырады. Мұнай шламына ультрадыбыстық өңдеудің әртүрлі режимдерінде тәжірибелер жүргізілді. Жеңіл фракциялардың шығымының 1:1 мұнай шламы/еріткіш қатынасында 20 мин, 30 мин ультрадыбыспен әсер ету уақытына тәуелділігі зерттелді.

Алынған нәтижелер 3 суретте берілген. 3-ші суреттен көрініп тұрғандай, ультрадыбыстық өңдеу кезінде көмірсутекті изоқосылыстардың шығымы артады. Графиктен ультрадыбыстық өңдеу уақыты изоқосылысты көмірсутектердің түзілуі артатынын көруге болады, көмірсутек изоқосылыстарының максималды шығымы 85°С-тан 120°С-қа дейінгі температура аралығында байқалады.



Сурет 3 – Ультрадыбыстық өңдеу уақытының изоқосылыстардың шығымына әсері

Ультрадыбыстық өңделген мұнай шламын айдау процесінде бөлінген изо-және н-көмірсутектердің хроматографиялық талдау нәтижелері 4-ші суретте берілген.



Сурет 4 – 120°С дейінгі компоненттік құрам

Дереккөздерден ароматты көмірсутектер қатардағы еріткіштер мұнай шламдарын жақсы ерітетіні белгілі [11-12]. Қанықкан көмірсутекті еріткіштер құрамында C_9 – C_{25} болатын жоғары молекулалық көмірсутектерді ерітіп, кіші молекулалық көмірсутектерге бөлуге мүмкіндік береді. Таңдалған еріткіштер арасында гептан:толуол қоспасы белсенді екені анықталды. Жаңа қоймалық мұнай шламдарын ультрадыбыстық өңдеу [13] реологиялық қасиеттерін жақсартады. Ультрадыбыстық өңдеу кезінде жоғары жиілікті акустикалық тербелістер жоғары молекулалық көмірсутектерге әсер етеді. Нәтижесінде кавитациялық көпіршіктер пайда болады. Көпіршіктердің жарылуы кезінде туындаған микротолқынды соққылар мұнай шламындағы көмірсутектердің құрылымын бұзады. Көмірсутектер арасындағы С-С байланыстың үзілуі, радикалдардың түзілуі мен кіші молекулалы бөлшектердің пайда болуын арттырады. Осы процессте көмірсутектердің молекулалық құрылымының өзгеруі, экстракция өнімінің шығымын арттырады. Құрамындағы жоғары молекулалық көмірсутектің ыдырау процесін жылдамдату үшін ультрадыбыстық өңдеудің оптимальды параметрлерін анықтау қажет. Ультрадыбыстың жиілігі 100 кГц жоғары болған жағдайда, газдың бөлінуі артады. Сондықтан алынатын өнімге және шикізаттың құрамына байланысты ультрадыбыстың параметрлерін тәжірибе жүзінде таңдау маңызды роль атқарады. Осыған байланысты мұнай шламдарын айдау кезіндегі қалдықтардың жалпы мөлшері азаяды. Ультрадыбыспен өңделеген мұнай шламын айдау кезінде температураның көтерілуі ауыр көмірсутектерді жеңіл көмірсутектерге ыдыратады. Алынған нәтижелерді тұжырымдап, ультрадыбыстық өңдеудің мұнай шламдарынан сапасы жоғары мотор отындарын бөліп алуға септігін тигізетіндігі анықталды. Барлық алынған нәтижелер статистикалық өңдеуден өткізілген.

Қорытынды

Мұнай шламының құрамындағы массасы жоғары көмірсутектердің ультрадыбыстық өңдеу кезінде ыдырау процессі зерттелді. Ультрадыбыстық өңдеу жеңіл көмірсутектердің шығымын 40,9%-ға арттырды. Ультрадыбыстық өңдеу кезінде еріткішті қолдану жоғары молекулалық көмірсутектердің ыдырау процессін жылдамдатады. Нәтижесінде жеңіл көмірсутектердің түзілуі жоғарылайды. Ультрадыбыстық өңдеудің 20 мин, 30 мин уақыт аралығында әсер ету мүмкіндігі салыстырылды. Ең оңтайлы уақыт 30 мин, 100 кГц екені анықталды. Экстракция процесінің сапасына температура, уақыт және еріткіштің қатынасы сияқты әртүрлі параметрлер әсер етеді. Әрі қарай, газ хроматографиясын қолдана отырып, әр түрлі еріткіштермен араластырып айдау кезіндегі мұнай шламына жеңіл көмірсутекттерді құрамы талданды, оңтайлы жағдайлары анықталып, бір-бірімен салыстырылды. Нәтижелер көрсеткендей, гептан:бензол және гептан:толуолмен экстракциялау кезінде 65-75°С температурада парафиндердің шығымы 40,9 және 37,9%, ал нафтендердің шығымы 2,7:12,05% құрады. Алынған талдаулар бойынша ультрадыбыстық өңдеудің мұнай шламдарынан алынатын жеңіл фракциялардың құрамына жақсы әсер ететіні анықталды. Ультрадыбыстық өңдеу қалдық мөлшерін азайтып, сапасы жоғары көмірсутектердің максималды алынуына ықпал ететіні анықталды.

Әдебиеттер тізімі

1. Зарипов Р.Т. Нефтяные шламы и способы их утилизации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 11. – С. 213-217. https://doi.org/10.24412/2071-6168-2021-11-213-217.
2. Экологические проблемы нефтяной промышленности / Ф.Р. Хайдаров и др. // ООО "Издательство научно-технической литературы: Монография. – Уфа: 2005. – 190 с.
3. Даутов Г.Р., Василевская С.П. Анализ методов утилизации и переработки нефтешламов / Г.Р. Даутов, С.П. Василевская // WORLD OF SCIENCE. – 2024. – С. 42-48.
4. Studying the Characteristics of Tank Oil Sludge / S. Tanirbergenova et al // Processes. – 2024. – Т. 12, № 9. – P.2007. https://doi.org/10.3390/pr12092007.
5. Хасанходжаева Б.Ш. Исследование возможности применения органического компонента нефтешлама в рецептуре резиновых уплотнений / Б.Ш. Хасанходжаева, Г.Ф. Сагитова, А.Н. Тілеуберді // НЕФТЬ И ГАЗ. – 2024. – № 6(144). – С.231-243. https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-6.15.

6. Oil recovery from petroleum sludge through ultrasonic assisted extraction / G. Hu et al // Journal of Environmental Science and Health Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering. – 2016. – V.51(11). – P. 921-929. https://doi.org/10.1080/10934529.2016.1191308.
7. Извлечение природных битумов из нефтебитуминозных пород месторождений Беке и Мунайлы Мола / Е.К. Онгарбаев и др. // Горение и плазмохимия. – 2017. – Т. 65, № 2. – С. 148-155.
8. Al-Doury M.M.I. Treatment of oily sludge using solvent extraction / M.M.I. Al-Doury // Petroleum Science and Technology. – 2019. – V.37 (1). – P. 1-7. https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1533859).
9. Development of methods for extracting oil in thepurification of waste oil with the use of solar energy / A. Maral et al // World Applied Sciences Journal. – 2013. – V.27(10). – P. 1331-1335. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.27.10.13769.
10. Roussis S.G. Simplified Hydrocarbon Compound Type Analysis Using a Dynamic Batch Inlet System Coupled to a Mass Spectrometer / S.G. Roussis, S.C. Andrew // Energy Fuels. – 1997. – V.11(4). – P.879-886. https://doi.org/10.1021/ef960221j.
11. Selection of Solvents for the Removal of Asphaltene – Resin - Paraffin Deposits / S. Tanirbergenova et al // Processes. – 2022. – V. 10. – P. 1262. https://doi.org/10.3390/pr10071262.
12. Подбор растворителей для удаления асфальтеносмолопарафиновых отложений / Е.К. Онгарбаев и др. // Вестник национальной инженерной академии РК. – 2022. – № 2(84). – С. 213-219. https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.169.
13. Chemical viscosity reduction of heavy oil by multi-frequency ultrasonic waves with the main harmonics of 20–60 kHz / A.V. Dengaev et al // Fluids. – 2023. –Т.8, № 4. – P.136. https://doi.org/10.3390/fluids8040136.

References

1. Zaripov R.T. Neftyanye shlamy i sposoby ikh utilizatsii // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2021. – № 11. – S. 213-217. https://doi.org/10.24412/2071-6168-2021-11-213-217. (In Russian).
2. Ehkologicheskie problemy neftyanoi promyshlennosti / F.R. Khaidarov i dr. // OOO "Izdatel'stvo nauchno-tekhnicheskoi literatury: Monografiya. – Ufa: 2005. – 190 s. (In Russian).
3. Dautov G.R., Vasilevskaya S.P. Analiz metodov utilizatsii i pererabotki nefteshlamov / G.R. Dautov, S.P. Vasilevskaya // WORLD OF SCIENCE. – 2024. – S. 42-48. (In Russian).
4. Studying the Characteristics of Tank Oil Sludge / S. Tanirbergenova et al // Processes. – 2024. – T. 12, № 9. – P.2007. https://doi.org/10.3390/pr12092007. (In English).
5. Khasankhodzhaeva B.SH. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya organicheskogo komponenta nefteshlama v retsepture rezinovykh uplotnenii / B.SH. Khasankhodzhaeva, G.F. Sagitova, A.N. Tileuberdi // NEFT' I GAZ. – 2024. – № 6(144). – S.231-243. https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-6.15. (In Russian).
6. Oil recovery from petroleum sludge through ultrasonic assisted extraction / G. Hu et al // Journal of Environmental Science and Health Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering. – 2016. – V.51(11). – P. 921-929. https://doi.org/10.1080/10934529.2016.1191308. (In English).
7. Izvlechenie prirodnykh bitumov iz neftebituminoznykh porod mestorozhdenii Beke i Munaily Mola / E.K. Ongarbaev i dr. // Gorenie i plazmokhimiya. – 2017. – T. 65, № 2. – S. 148-155. (In Russian).
8. Al-Doury M.M.I. Treatment of oily sludge using solvent extraction / M.M.I. Al-Doury // Petroleum Science and Technology. – 2019. – V.37 (1). – P. 1-7. https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1533859). (In English).
9. Development of methods for extracting oil in thepurification of waste oil with the use of solar energy / A. Maral et al // World Applied Sciences Journal. – 2013. – V.27(10). – P. 1331-1335. https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.27.10.13769. (In English).
10. Roussis S.G. Simplified Hydrocarbon Compound Type Analysis Using a Dynamic Batch Inlet System Coupled to a Mass Spectrometer / S.G. Roussis, S.C. Andrew // Energy Fuels. – 1997. – V.11(4). – P.879-886. https://doi.org/10.1021/ef960221j. (In English).

11. Selection of Solvents for the Removal of Asphaltene – Resin - Paraffin Deposits / S. Tanirbergenova et al // Processes. – 2022. – V. 10. – P. 1262. https://doi.org/10.3390/pr10071262. (In English).
12. Podbor rastvoritelei dlya udaleniya asfal'tenosmoloparafinovykh otlozhenii / E.K. Ongarbaev i dr. // Vestnik natsional'noi inzhenernoi akademii RK. – 2022. – № 2(84). – C. 213-219. https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.169. (In Russian).
13. Chemical viscosity reduction of heavy oil by multi-frequency ultrasonic waves with the main harmonics of 20-60 kHz / A.V. Dengaev et al // Fluids. – 2023. –T.8, № 4. – R.136. https://doi.org/10.3390/fluids8040136. (In English).

*Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің бағдарламалық нысаналық қаржыландыру тақырыбының **BR24992915**, «Эластомерлі-, полимерлі-битумды байланыстырғыштар негізінде беріктілігі жоғары асфальтбетондар өндіру технологиясын әзірлеу және құрамында сұйық көміртегі бар қалдықтарды плазмохимиялық өңдеу» (2024-2026) аясында орындалды.*

С.К. Танирбергенова[1,2], А.Ж Тагаева[1], Д.А. Тугелбаева[2,*], Н.К. Жылыбаева[2], З.А. Мансуров[2]
[1]Алматинский технологический университет,
050012, Республика Казахстан, Алматы, ул.Толе би, 100
[2]РГП на ПХВ «Институт проблем горения»,
050012, Республика Казахстан, Алматы, ул.Богенбай батыра, 172
*e-mail: dilya.12@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКА НА ПРОЦЕСС ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ ШЛАМОВ

Нефтешлам – вредные отходы, образующиеся в районах добычи нефти. Переработка нефтешламовых отходов является одной из актуальных проблем нефтяной и нефтехимической промышленности. В данной статье исследуется влияние ультразвука на образование светлых продуктов в процессе переработки нефтешлама.

В ходе исследования были изучены методы получения высококачественных продуктов из нефтешлама. Для обработки нефтяного шлама были выбраны растворители. Ультразвуковая обработка проводилась без использования растворителя для определения воздействия растворителей. Процесс перегонки отработанного нефтяного шлама проводился в аппарате Сокслет в диапазоне температур от 65°C до 250°C. Определено влияние различных параметров, таких как температура, время и соотношение растворителей, на качество процесса экстракции. Методом газовой хроматографии определен состав легких углеводородов, полученных при перегонке нефтешламов, растворенных в различных растворителях. В зависимости от полученных результатов в качестве растворителей выбраны смеси гептана: бензола и гептана: толуола в соотношении 1:1. Кроме того, представлены сравнительный результаты газохроматографических исследований компонентного состава нефтешлама и нефтешламов с растворителем после перегонки. Максимальный выход легких углеводородов достиг 40,9%, а ароматических углеводородов – 57,2%. В связи с этим нефтешламы можно рассматривать как сырье для производства светлых продуктов, как моторные топливо. Предложенная технология показала возможность получения товарного продукта из нефтешлама без потери летучих веществ. Также, было установлено, что этот процесс и получаемые в результате продукты не наносят вреда окружающей среде.

***Ключевые слова:** нефть, отходы нефтяного шлама, переработка, моторное топливо, ультимативная обработка.*

S.K. Tanirbergenova[1,2], A.Zh. Tagayeva[1], D.A. Tugelbayeva[2,*],N.K. Zhylybayeva[2], Z.A. Mansurov[2]
[1]Almaty Technological University,
050012, Republic ofKazakhstan, Almaty, 100,Tole Bi Str.
[2]Institute of Combustion Problems,
050012, Republic ofKazakhstan, Almaty, 172 Bogenbay Batyr Str.
*e-mail: dilya.12@mail.ru

STUDYING THE INFLUENCE OF ULTRASONIC TECHNOLOGY ON THE PROCESS OF REPRODUCTION OF OIL SLUDGE

Oil sludge is harmful waste generated in oil production areas. The processing of oil sludge is one of the urgent problems of the oil and petrochemical industry. This article examines the effect of ultrasound on the formation of light products during the processing of oil sludge.

In the course of the study, methods for obtaining high-quality products from oil sludge were studied. Solvents were selected for the treatment of oil sludge. Ultrasonic treatment was performed without the use of a solvent to determine the effect of solvents. The distillation of spent oil sludge was carried out in the Soxlet apparatus in the temperature range from 65°C to 250°C. The influence of various parameters such as temperature, time, and solvent ratio on the quality of the extraction process has been determined. The composition of light hydrocarbons obtained by distillation of oil sludge dissolved in various solvents has been determined by gas chromatography. Depending on the results obtained, mixtures of heptane: benzene and heptane: toluene in a ratio of 1:1 were selected as solvents. In addition, comparative results of gas chromatographic studies of the component composition of oil sludge and oil sludge with solvent after distillation are presented. The maximum yield of light hydrocarbons reached 40.9%, and aromatic hydrocarbons – 57.2%. In this regard, oil sludge can be considered as raw materials for the production of light products, as motor fuels. The proposed technology has shown the possibility of obtaining a commercial product from oil sludge without loss of volatile substances. It has also been found that this process and the resulting products do not harm the environment.

Key words: *oil, oil sludge waste, processing, motor fuel, and ultimatum processing.*

Авторлар туралы мәліметтер

Сандугаш Кудайбергеновна Танирбергенова – химия ғылымдарының кандидаты, «Жану проблемалары институты» ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан.

Айсулу Жорабековна Тагаева – PhD докторант, АО «Алматы технологиялық университеті», Алматы, Казахстан.

Дилдара Абдикадыровна Тугелбаева* – магистр, «Жану проблемалары институты» ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан.

Нуржамал Кыдырханкызы Жылыбаева – химия ғылымдарының кандидаты, «Жану проблемалары Институты» ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан.

Зулхаир Аймухаметович Мансуров – химия ғылымдарының докторы, профессор, «Жану проблемалары институты» ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан.

Сведения об авторах

Сандугаш Кудайбергеновна Танирбергенова – кандидат химических наук, РГП на ПХВ «Институт проблем горения» КН МНВО, Алматы, Казахстан.

Айсулу Жорабековна Тагаева – PhD докторант, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан.

Дилдара Абдикадыровна Тугелбаева* – магистрант, РГП на ПХВ «Институт проблем горения» КН МНВО, Алматы, Казахстан.

Нуржамал Кыдырханкызы Жылыбаева – кандидат химических наук, РГП на ПХВ «Институт проблем горения» КН МНВО, Алматы, Казахстан.

Зулхаир Аймухаметович Мансуров – доктор химических наук, профессор,РГП на ПХВ «Институт проблем горения» КН МНВО, Алматы, Казахстан.

Information about the authors

Sandugash Tanirbergenova – Candidate of Chemical Sciences, RES on REM «Institute of Combustion Problems», Almaty, Kazakhstan.

Aisulu Tagayeva – PhD, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan.

Dildara Tugelbayeva* – master, RES on REM «Institute of Combustion Problems», Almaty, Kazakhstan.

Nurzhamal Zhylybayeva – Candidate of Chemical Sciences, RES on REM «Institute of Combustion Problems», Almaty, Kazakhstan.

Zulkhair Mansurov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, RES on REM «Institute of Combustion Problems», Almaty, Kazakhstan.

Редакцияға енуі 02.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 26.08.2025
Жариялауға қабылданды 27.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-65

BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 44.33.33

С.К. Танирбергенова[1], З.А. Мансуров[1], З. Инсепов[2], Б.Т. Лесбаев[1], А.Ө. Әкімбек[1]*
[1]Жану проблемалары институты,
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Бөгенбай батыр к-сі, 172 үй.
[2]Nazarbayev University,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қабанбай батыр д-лы, 53 үй.
*e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru

МОНАЦИТ ҚҰРАМЫНДАҒЫ ТОРИЙ ҚАЛДЫҚТАРЫН ЭНЕРГЕТИКА САЛАСЫНДА ПАЙДАЛАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Аңдатпа: *Таза және тұрақты энергияға жаһандық сұраныстың өсуі жағдайында радиоактивті химиялық элемент торийді ядролық отын ретінде пайдалану ерекше назар аударады. Бұл зерттеу жұмысы торий энергетикасында қолдану мақсатында құрамында торий бар тау-кен өндіретін өнеркәсіптік қалдықтарды өңдеу мүмкіндіктерін кешенді талдауға бағытталған. Зерттеу жұмысында монацит минералы алтын өндіру және сирек жер өнеркәсібінің үйінділерінде түзілетін торийдің негізгі көзі ретінде қарастырылады. ANSYS және COMSOL Multiphysics бағдарламалық кешендерін пайдалана отырып, торий реакторының белсенді аймағының математикалық модельдерін әзірлеуге бағытталған теориялық зерттеулер жүргізілді. Модельдер нейтрондардың тасымалдану процестерін, жылу алмасуды, салқындатқыш ағындарын және механикалық кернеулерді ескереді. Экологиялық тәуекелдерді азайту мақсатында қалдықтардан торий алудың физика-химиялық әдістері де зерттелді. Мақалада Қазақстандағы, оның ішінде Маңғыстау облысы, Оңтүстік Қазақстан облысы және Солтүстік Қазақстан облысындағы перспективалық кен орындары анықталған торийдің геологиясы мен қоры туралы нақты геологиялық және минералогиялық деректер келтірілген. Зерттеу нәтижелері Қазақстан Республикасында торий энергетикасын дамытудың жоғары технологиялық және экологиялық орындылығын атап көрсетеді және торий негізіндегі төртінші буындағы реакторларды енгізудің тұжырымдамалық және ғылыми негізін жасайды.*

Түйін сөздер: *торий, торий энергетикасы, монацит, алтын, қалдықтар, тау-кен өнеркәсібі, реакторлар, атом энергетикасы.*

Кіріспе

Соңғы жылдары торий негізіндегі ядролық отынды қолданатын реакторларға қызығушылық айтарлықтай артып отыр. Торий энергетикасы дәстүрлі уран реакторларына қарағанда тұрақты әрі қауіпсіз балама ретінде перспективалы бағыт болып табылады. Торий көбінесе сирек кездесетін минералдар құрамында, жер қыртысына жақын орналасқан сазды минералдарда ион түрінде адсорбцияланған және өндірістік қалдықтарда жиі кездеседі. Кен өндіру саласында торий құрамын, соның ішінде қалдықтардағы мөлшерін анықтау бағытында зерттеулер жүргізілуде. Жер қыртысындағы торийдің орташа концентрациясы 8-13 г/т, ал теңіз суындағы концентрациясы шамамен 0,05 мкг/л деңгейінде. Дегенмен, торийдің негізгі кен көзі ретінде саналатын монацит минералы әлі күнге дейін негізінен өнеркәсіптік қалдық ретінде қарастырылып, оның стратегиялық ядролық ресурс ретіндегі маңызы жеткілікті бағаланбаған [1-5].

Өкінішке орай, қазіргі уақытта өңдеу зауыттарына қанша торий түскені және оның бастапқыда қайда сақталғаны туралы нақты сандық деректер жоқ. Дегенмен, жаһандық энергия тұтынудың үздіксіз өсуін ескере отырып, осы саладағы ағымдағы зерттеулер маңызды және уақтылы нәтижелер әкелуі мүмкін. Кейбір металдармен жүретін табиғи радиоактивтік процестер арқылы қосымша энергия алу мүмкіндігі пайдалы қазбаларды өндіру саласында ерекше қызығушылық тудырады. Осы тұрғыда монацит сияқты минералдарда, әсіресе алтын өндіретін кәсіпорындардың қалдықтарында кездесетін торийден энергия өндіру мүмкіндігін зерттеу маңызды болып отыр [1, 5-8].

Талқыланған мәселелер монацитті құнды ресурс ретінде пайдаланудың техникалық тұрғыдан мүмкін екенін, сонымен қатар бұл мәселенің экологиялық жағы туралы да ақпарат береді. Бұдан бөлек, торийдің ядролық отын ретінде тиімді қолданылуы өндірістік қалдықтарды қайта өңдеуді ынталандырып, қоршаған ортаға зиянды әсерді азайтуға мүмкіндік

береді. Сонымен қатар, торий энергетикасының дамуы Қазақстанның энергетикалық қауіпсіздігін нығайтуға және сирек кездесетін элементтер базасын кеңейтуге ықпал етеді.

Мақсаты: Экологиялық таза, қауіпсіз және тұрақты торий негізіндегі ядролық реакторға қатысты шолу жасау және оның энергетикалық әлеуетін бағалау.

Міндеттері:

1. Торий негізіндегі ядролық реакторлардың энергетикалық әлеуеті мен технологиялық мүмкіндіктерін талдау;
2. Монацит және өндірістік қалдықтардағы торий қорларының табиғаты мен құрамын зерттеу;
3. Торийді өндіру мен қайта өңдеудегі экологиялық мәселелер мен қалдықтарды басқару тәсілдерін қарастыру;
4. Торийді және сирек жер элементтерін тиімді пайдалану арқылы ядролық отын өндірісінің тұрақтылығын бағалау.

1 Торий болашақ энергетика үшін ең тиімді табиғи ресурс ретінде

Әлемнің көптеген елдерінде қол жетімді, өте перспективалы ядролық отын-торий-232 ғалымдар арасында ерекше қызығушылық тудыруда, себебі ол қоғамның энергетикалық қажеттіліктерін қанағаттандыру мүмкіндігіне ие.

Табиғи торий – радиоактивті изотоптардың қоспасы, торий радиоактивті ыдырау қатарының бастамасы. Басқа изотоптар табиғатта уран мен актинийдің ыдырау қатарында кездеседі, ал торий барлық уран кендерінде болады. Синтетикалық изотоптары алынды: нептунияның синтетикалық актиноидтық элементінен шыққан ыдырау тізбегінде пайда болған торий-229 (жартылай шығарылу кезеңі 7880 жыл) кәдімгі торийдің (торий-232) [9] трассері ретінде қолданылады (1-сурет).

Сурет 1 – Торий элементінің химиялық сипаттамасы [7]

Таза күйіндегі торий – күмістей ақ түсті металл, ауада тұрақты болып, өзінің жылтырлығын бірнеше ай бойы сақтай алады. Егер ол торий оксидімен ластанса, ауада біртіндеп күңгірттеніп, сұр түске, кейін қара түске айналады. Торийдің физикалық қасиеттері көбіне оның оксидпен немесе көміртек сияқты басқа қоспалармен ластану дәрежесіне байланысты. Ең таза үлгілердің өзінде бірнеше ондық пайыз оксид болады. Дегенмен, өте жоғары тазалықтағы торий де алынған. Таза торий жұмсақ, өте иілгіш және суықтай илеуге және созуға оңай көнеді. Алайда, созылу беріктігі төмен болғандықтан, созу процесі қиындық туғызады. Торий диморфты металл, 1400 °C температурада оның құрылымы кубтықтан көлемдік-центрленген кубтыққа өзгереді. Торий оксидінің балқу температурасы 3300 °C-қа тең, бұл барлық оксидтердің ішіндегі ең жоғарысы. Тек вольфрам сияқты бірнеше элемент пен тантал карбиді сияқты бірнеше қосылыстар ғана бұдан жоғары балқу температурасына ие [10].

Торий сумен баяу әрекеттеседі, бірақ тұз қышқылынан басқа қарапайым қышқылдардың көпшілігінде еруі қиын. Ұнтақты металл торий көбінесе пирофорлы болып табылады және оны мұқият өңдеу керек. Ауада қыздырғанда торий жоңқалары тұтанып, ақ жарықпен жарық шашып жанады. Торий магний мен магний қорытпаларына олардың жоғары температуралық беріктігін арттыру үшін қосылады. Ол коммерциялық фотоэлементтерде толқын ұзындығы 2000-нан 3750 ангстремға дейінгі ультракүлгін сәулені өлшеу үшін қолданылады. Торий шыныға қосылғанда, ол жоғары сыну көрсеткіші бар шыны алуға мүмкіндік береді, бұл арнайы оптикалық қолданбалар үшін пайдалы. Бұрын торий газды және керосинді шамдарға арналған торлар құрамында кеңінен қолданылған, сондай-ақ шамдарға арналған вольфрам жіптерін және вакуумдық түтіктерді өндіруде пайдаланылған.Торий өзінің барлық дерлік қосылыстарында +4 тотығу дәрежесін көрсетеді. Th^{4+} ионы көптеген күрделі

иондар түзеді. Торий оксиді (ThO2), отқа төзімді зат, көптеген өнеркәсіптік қосымшаларға ие; торий нитраты (Th (NO3)4) коммерциялық тұз түрінде қол жетімді [11].

Жер қыртысының жоғарғы бөлігіндегі торийдің орташа мөлшері 6-10 г/т құрайды, бұл уранға қарағанда шамамен 3-4 есе көп. Торий кең таралған, бірақ таза металл түрінде емес, минералдық формада – оксидтер, силикаттар, фосфаттар және басқа да минералдар түрінде кездеседі. Торий ресурстары туралы деректердің көбі болжамды сипатта болғанымен, соңғы бағалаулар бойынша әлемде 6,2 миллион тоннадан астам торий бар. [12]. Халықаралық Атом энергиясы агенттігінің (МАГАТЭ) ақпараты бойынша торий кен орындары жалпы төрт негізгі түрге бөлінеді [13] (1-кесте):

1 кесте – Торий кен орындарының негізгі түрлерінің ресурстары

Кен орындарының түрі	Торий қоры (1000 тонн)	Торийдің әлемдік қоры (% жуықталған)
Шөгінді түрінде	2182	35
Карбонатит	1783	29
Жила түрінде	1528	25
Сілтілік жыныстар	584	9
Басқа/белгісіз	135	2
Барлығы	6212	100

Шөгінді кен орындары тау жыныстарының, ауа-райының бұзылуы, толқындардың немесе ағындардың тасымалдануы және әсер етуі нәтижесінде пайда болады. Мұндай кен орындары көбіне қара құмдар немесе ауыр минералды құмдар деп аталады. Торийдің негізгі минералы – сирек жер элементтерінің фосфаты монацит, ол әдетте 10 %-дан аз Th (торий) құрамына ие. Басқа да маңызды, коммерциялық минералдарына, мысалы, ильменит, рутил, магнитит және басқалар жатады. Монацитті бөліп алуға болады, ал егер торий қажет болса, оны қосалқы өнім ретінде өндіруге болады. Шөгінді кен орындары архей дәуірінен бастап үшіншілік кезеңге дейінгі және одан кейінгі шөгінді түзілімдерге дейінгі аралықта пайда болған.

Карбонатитті жыныстар магмалық тектес болып келеді және құрамының 50%-дан астамы карбонатты минералдардан (кальцит, доломит, анкерит) тұрады. Олар көбіне магнититпен, апатитпен, флюоритпен және құрамында торий болатын Nb-Ta (ниобий-таантал) қосалқы минералдарымен байытылған. Сонымен қатар басқа да минералдар болуы мүмкін. Карбонатит кен орындары әлемнің түкпір-түкпірінде кездеседі. Қазіргі уақытта бұл кен орындары негізінен ниобий мен тантал алу үшін коммерциялық тұрғыда қызығушылық тудырады, ал торий қажет болған жағдайда қосалқы өнім ретінде өндіріліп алынуы мүмкін.

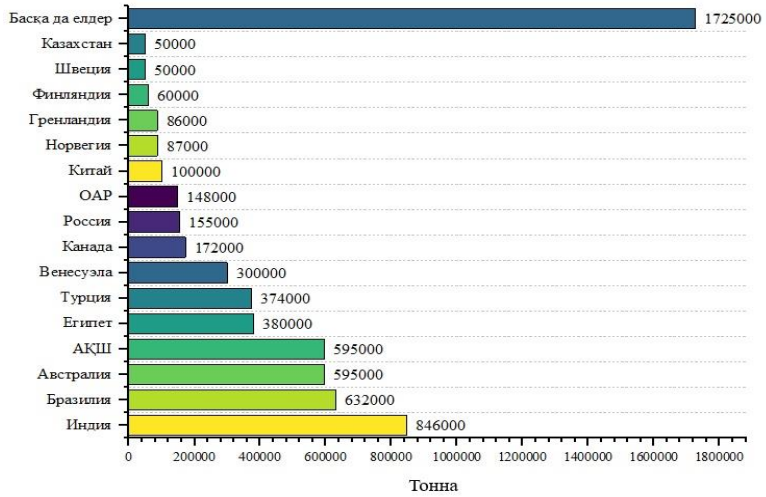
Жила типтегі кен орындары да кең таралған және негізінен гидротермалдық текті болып келеді. Олар интрузивті немесе эффузивті магмалық жыныстармен кеңістікте байланыста орналасады және көбінесе карбонатит интрузияларымен байланысты болады. Бұл кен орындары әдетте созылыңқы, жила тәрізді немесе линза тәрізді пішінде болып келеді не жыныс қабаттарының жіктері мен жарықтарын толтыратын табақша тәрізді болады. Торийге тән кең таралған минералдар – торий оксиді мен торий силикаты. Мұндай жилалар жиі полиметалдық құрамда болады. Қажет болған жағдайда торийді қосалқы өнім ретінде өндіруге болады.

Сілтілі жыныстар магмалық тектес болып келеді және құрамында сілтілі дала шпаттарының (сілтілі гранит, сиенит) мөлшері жоғары болады. Бұл жыныстар көбінесе карбонатит интрузияларымен кеңістікте байланысты болып келеді. Минералдық құрамы әртүрлі және күрделі. Басқа кен орындары сияқты, мұндай жыныстарда да торий қажет болған жағдайда қосалқы өнім ретінде алынуы мүмкін.

Торий көптеген елдерде, соның ішінде АҚШ, Қытай, Үндістан және т.б. таралған. 2-суретте әртүрлі елдердің аумағында торий қорларын бөлу туралы мәліметтер келтірілген.

2 Торий: сирек кездесетін жер элементтерін өндірудің жанама өнімі ретінде және оны қолдану перспективалары

Қазіргі таңда торий – радиоактивті элемент, көбінесе сирек кездесетін жер элементтерін (СЖЭ) алу мақсатында өндірілетін монацит минералынан жанама өнім ретінде алынады. Сондай-ақ, СЖЭ-ге бай карбонатит сияқты минералдар да торийдің жоғары мөлшерін қамтуы мүмкін. Торий барлық кен орындарында бола бермесе де, көпшілігінде кездеседі.



Сурет 2 – Торийдің әлемдік қоры [14]

Бүгінде СЖЭ-нің 90-98 %-ы, негізінен Қытайда (78 %), сондай-ақ басқа елдерде өндіріледі. Минералды құм өндірісінің өсуі СЖЭ-мен қатар торий, уран және радий сияқты радионуклидтердің өндірісін де арттыруы мүмкін. Монацитке бай кен орындары көбіне торийді де қамтиды. Уранды сату оңай болса, торий нарығы шектеулі. Артық торийді тиімді пайдаланудың ұзақмерзімді шешімі – оны энергия көзі ретінде қолдану. Қытай бастаған Азия елдерінде торийлі ядролық реакторларды зерттеу жұмыстары жалғасуда, себебі олар CO_2 шығарындыларын азайтып, радиотоксикалылықты төмендетуге мүмкіндік береді [15, 16].

Торий – ядролық реакторда қолдануға жарамды, уранға балама отын көзі. Қытай, Үндістан және Канада торий реакторларын пайдалану арқылы өздерін 1000 жыл энергиямен қамтамасыз ете алады. Қазір әлемде 439 уран реакторы жұмыс істеп тұр, тағы 108-і салынып жатыр. Олардың арасында торийлік реакторлар да бар. 2021 жылы Қытай алғашқы торий реакторын сынаққа дайындағанын хабарлады. Егер жоба сәтті болса, Қытай энергия өндіруде көшбасшы елдердің біріне айналуы мүмкін. Торий қоры бойынша Үндістан алда, сондықтан ол толығымен торийге көшуді көздеп отыр. Сондай-ақ Ресей, Жапония, АҚШ, Канада және Қазақстан да торийге бай елдерге жатады. Торийге деген қызығушылықтың артуына байланысты кейбір тау-кен кәсіпорындары бұл элементті зерттеуді бастап кетті, әсіресе оны алтын өндіретін кәсіпорындардың өндірістік қалдықтарында іздестіруде. Бұл кәсіпорындар бұрын осы элементті пайдаланып энергия өндірген. Өкінішке қарай, торийдің нақты қанша мөлшерде қайта өңдеу зауыттарына жеткізілгені және бастапқыда қайда сақталғаны туралы нақты деректер әзірге жоқ. Дегенмен, жаһандық энергияға деген сұраныс өскен сайын, қазіргі зерттеулер дер кезінде нәтиже беруі мүмкін. Бар мәліметтерге сүйенсек, тау-кен өндірісінен алынған торийді жағу арқылы өндірілетін энергия торийлі қалдықтардың төрт есе көп тұтынылуына әкеледі. Қазір жұмыс істеп тұрған және жаңадан ашылып жатқан алтын өндіруші кәсіпорындардың көбеюіне байланысты, қоршаған ортаға зиян келтірмей, осындай элементтерді тиімді алуға мүмкіндік беретін өндірістік процестерді әзірлеп, енгізу аса маңызды. Жалпы алғанда, кейбір металдардың табиғи радиоактивті түрленуі нәтижесінде энергияның қолжетімділігінің артуы тау-кен өнеркәсібіндегі маңызды жетістік болып саналады.

2.1 Сирек жер металдарын өндіру қалдықтарындағы монациттің таралуы

Алтын өндіру нәтижесінде түзілетін мол өндірістік қалдық монациттің техникалық тұрғыдан қолдану мүмкіндіктерін зерттеу, әсіресе құрамындағы сирек кездесетін жер элементтерін (СЖЭ) анықтау және оларды игеру жолдарын қарастыру маңызды қадам болып табылады. Монациттен алынатын торийді энергетикада пайдалану радиоактивті қалдықтарды азайтуға және қоршаған ортаға әсерді төмендетуге мүмкіндік береді. Бірақ бұл үдеріс кезінде түзілетін қалдықтар жоғары радиациялық белсенділікке ие, сондықтан I класқа жататын қауіпті қалдықтар ретінде қарастырылады. Осыған байланысты материалды қауіпсіз әрі тиімді пайдалану әдістерін әзірлеу өзекті болып табылады.

Монацит табиғатта магмалық және метаморфтық жыныстарда, сондай-ақ ежелгі және қазіргі аллювиалды құмдарда кездеседі. Ол ауыр минералдардан алынатын қосалқы өнім ретінде өндіріліп, өзен арналарынан және жағалау құмдарынан магниттік немесе гравитациялық әдістермен алынады. Сондай-ақ пегматиттер мен гидротермальды

түзілімдерде кварц және басқа СЖЭ минералдарымен бірге кездеседі. Химиялық құрамы күрделі монацит – (Ce, La, Pr, Nd, Y)PO_4 формулалы фосфат минералы, құрамында 5 %-ға дейін торий (Th) мен уран (U) болуы мүмкін. Ол ромбтық немесе призматикалық кристалл пішінінде, сондай-ақ оратылған бөлшектер түрінде кездеседі. Табиғи радиоактивтілігі жоғары бұл минерал ауыр актинидтерді (Th және U) алудың ең тиімді көзі болып табылады. Осы қасиеттеріне байланысты монацитті өңдеу – бір жағынан сирек кездесетін элементтер мен ядролық отын алу жолы, екінші жағынан радиациялық қауіпсіздік талаптарына сай келетін күрделі технологиялық әдіс [17-21].

Торий сирек кездесетін жер элементтері минералдарының құрамында жиі кездесетін элемент, оның негізгі көзі – монацит. Жер қыртысындағы орташа мөлшері 8-13 г/т, ал теңіз суында – 0,05 мкг/л. Қышқыл магмалық жыныстарда торийдің мөлшері жоғары (18 г/т), негізгі жыныстарда төмен (3 г/т). Ол көбінесе пегматиттік және постмагмалық процесстердің нәтижесінде, калийге бай жыныстарда жиналады. Торий жыныстарда уран-торий минералдарының құрамында немесе акцессорлық минералдарда қоспа түрінде кездеседі. Белгілі жағдайларда (галогендерге, сілтілерге және CO_2-ге бай ерітінділер болғанда) торий гидротермальды жолмен миграцияға ұшырап, уран-торий немесе гранат-диопсидті кен орындарында тұнбаға айналуы мүмкін. Негізгі минералдары: монацит құмы мен ферриторит. Торий грейзендік кен орындарында феррит құрамында немесе титан, уран сынды элементтері бар минералдарда да кездеседі. Ол сондай-ақ гранит түзуші слюдаларда (мысалы, флогопит, мусковит) қоспа ретінде болады. Торий 12-ге жуық минералда кездеседі, олардың негізгілеріне монацит, торианит, эвксенит, эхинит және викит жатады.

2.2 Алтын өндіру процесіндегі ілеспе монациттің рөлі

Жыл сайын әлемде орта есеппен 2800 тонна алтын өндіріледі. Бұл өндіріс көлемі әр тераграмм (тг) алтынға шамамен 2000 тонна «қалдық» руда мен 10,2 миллион тонна бос жыныстың түзілуіне әкеледі. Барланған алынатын алтын қоры шамамен 99 тг болса, оған қатысты 198 тг бос жыныс торийді өндіруге әлеуетті көз бола алады. Соңғы жылдары алтынның тек аз бөлігі өндірілгенімен, қорлардың негізгі бөлігі 1970-жылдардан бері жиналған «қалдық» көздерден тұрады. Алтын өндірудің орташа мерзімі 41 жыл деп есептегенде, қазіргі өндіріс қарқыны (2800 т/ж) «қалдық» алтын қорының 396 тг-ге жетуіне мүмкіндік береді. 2012 және 2016 жылдарға арналған бағалаулар сәйкесінше 300 тг және 220 тг көлеміндегі «қалдық» қорларды көрсетеді, бұл болжамның дәлдігін растайды.

Қазіргі таңда әлемде қайта өңдеуге жарамды 19 миллиард тонна көлеміндегі жеңіл қолжетімді қалдықтар жиналған. Бұған қоса, литийді коммерциялық мақсатта қолдануға дейін жиналған бірнеше гигатонна көлеміндегі термиялық белсенді қалдықтар да бар. Алтын өндірісінің «қалдық» ресурстарын тиімді пайдаланудың техникалық мүмкіндіктері бар және ол қатар жүргізілетін коммерциялық жобалармен біріктірілген жағдайда экономикалық тұрғыдан тиімді болуы мүмкін. Аталған процестер нәтижесінде алынатын радиоактивті материалдардың (мысалы, торийдің) қауіпсіз өңделуі мен утилизациясы үшін экологиялық, әлеуметтік және экономикалық аспектілер жеке-жеке қарастырылуы тиіс. Бұл тәсіл жобаларды тұрақты дамуға бағыттау және қалдықтарды тиімді кәдеге жарату үшін маңызды. [22-28].

Алтын өндіру процесі кезінде топырақтың үстіңгі қабаты алынып тасталады, оның көлемі алынатын металдың көлемінен шамамен 60 есе артық болуы мүмкін. Бұл үдеріс көбіне алтынға қол жеткізу үшін ірі жыныстарды ығыстыру немесе алтын құрамды материалдарды басқа заттармен араластыруды қамтиды. Мұндай аралық жыныстарды жою жер бедерін бұзуға және алтынды күкірт қышқылы арқылы алу технологиясы қолданылған жағдайда химиялық реагенттерге, соның ішінде оттекке деген сұраныстың артуына әкеледі. Қалдықтарды өңдеудің тәсілі олардың шығару құнымен және өңдеу кезіндегі экологиялық талаптармен, сондай-ақ аймақтық заңнамаға сәйкес анықталады. Алайда, алтын өндіруші кәсіпорындар қалдықтарды нарықтық құнын ескермей тұрып өңдеу құны тұрғысынан қарастыру мәселесін толық зерттемеген. Қалдықтардан сирек кездесетін жер элементтерін (СЖЭ) бөліп алып, оларды бастапқы алтын өндіру шығындарын өтеу үшін қолдану әлеуеті бар. Кейбір жағдайларда уран-торий негізіндегі отын көзін қалыптастыру арқылы ауыр металдармен жерасты суларының ұзақ мерзімді ластану қаупін азайтуға болады. Алтын өндірудің жанама өнімі ретінде алынатын торий бұл тұрғыда айтарлықтай қызығушылық

тудыруы мүмкін. Бұл аспектіні нақты сандық тұрғыда бағалау қиын болса да, ол тау-кен саласындағы мамандар үшін маңызды мәселе болып қала береді [29, 30, 31, 32, 33, 34].

Өнеркәсіптік алтын өндіру жаһандық деңгейде кең таралған, тауар нарығындағы маңызды сала. Геологиялық тұрғыдан алғанда, алтын кен орындары көбіне монацитпен тығыз байланысты, ол алтын өңдеу кезінде пайда болатын жанама өнім ретінде қарастырылады. Монациттің алтынмен байланысы аналитикалық зерттеулер нәтижесінде анықталып, күрделі кен орындарындағы алтын құрамын бағалауда маңызды рөл атқарады.

Монациттің кристалдық құрылымында радий сияқты изоморфты қосындылардың мөлшері аз. Құрамында негізінен церий фосфаты (шамамен 75 %), жеңіл сирек кездесетін элементтер: лантан (10 %), орташа сирек элементтер: празеодим (10-15 %) және ауыр сирек элемент: иттрий (5 %) кездеседі. Кейбір кристалдық ядроларда радиоактивті элементтер, әсіресе торий, мөлшері аспаптық анықтау шегінен жоғары болатын деңгейде анықталуы мүмкін. Монациттің сирек элементтермен және радиоактивті изотоптармен байланысы алтын өндіру кезінде минералдық шикізатты кешенді өңдеудің маңыздылығын көрсетеді. Дегенмен, мұндай жанама өнімдерді басқару, мысалы, монацит бар қалдықтарды экологиялық талаптарға сай жою қиындықтар туғызады. Алтын бар қалдықтардан монацитті қайта өңдеуді қолдайтын нақты ережелердің болмауы бұл процесстердің дамуын тежейді [35-39].

2.3 Қазақстан аумағындағы торий мен монациттің таралуы

Қазақстан аумағында сирек және сирек жер элементтерінің сегіз кен орны тіркелген. Маңғыстау облысында Меловое, Токмақ, Тайбұғар және Тасмұрын уран кен орындары орналасқан; Қостанай облысында Ақбұлақ және Құндыбай кен орындары; ал Түркістан (Оңтүстік Қазақстан) облысында Мойынқұм мен Ақдала кен орындары орналасқан. Бұған қоса, ел аумағында сирек және сирекжер металдарының 40-қа жуық түрін қамтитын Қарағайлыақтас, Жанет, Ахметкино және Ново-Ахмировское сияқты бірнеше кен орындары бар.

Қазақстанда торийдің жеткілікті қоры бар, ол көбіне монацит құрамынан алынады. Бұл процесте бірқатар сирек жер металдары да өндіріледі. Олар қосмос, ақпараттық технологиялар, автомобиль жасау және басқа да өндірістік салаларда кеңінен қолданылады. Торий өндірісі үшін арнайы құрылған Ульбин металлургия зауыты осы бағыттағы ірі кәсіпорындардың бірі. Қазіргі уақытта торийдің негізгі экспорттаушысы – Қытай. Алайда, Қытай кендерінің құрамында сирек металдардың үлесі небәрі 1% болса, қазақстандық кендердің құрамында бұл көрсеткіш мамандардың бағалауынша 44%-ға дейін жетеді. Торийді пайдалану кезінде радиациялық қалдықтардың қауіпсіздік деңгейі едәуір артады: уран отынының толық ыдырауына 10-15 мың жыл қажет болса, торийлі қалдықтардың ыдырау мерзімі небәрі 150-200 жылды құрайды [40].

Солтүстік Қазақстан облысының Тайыншы ауданындағы Обухов кен орны орташа қорға ие, құрамында ильменит (82,09 кг/м³), циркон (80,41 кг/м³), рутил, лейкоксен, монацит (0,5-10 кг/м³), дистен және андалузит бар.

2024 жылдың шілде айындағы мәліметтерге сәйкес, Түркістан облысында ураннның ірі қорлары анықталған. Жалпақ кен орнының Шығыс учаскесінде жаңа ресурстар табылып, болашақта геологиялық барлау жұмыстары жоспарлануда. Торийдің уран кен орындарында бірге кездесетінін ескере отырып, бұл аймақ торий өндіру үшін де келешегі бар деп есептеледі. Қазақстан аумағында 30-дан астам кен орнының элементтік құрамы мен геохимиялық спектрі зерттелген. Нәтижесінде уран кен орындары сирек жер элементтерімен, сирек металдармен және алтынмен бай екені анықталды. Бұл кендерде негізінен жеңіл лантаноидтар: лантан мен церий жиналады, ал сирек металдар арасында гафний мен сүрме (Sb) басым.

Ауыр лантаноидтар иттэрбий мен лютэцийдің ең жоғары концентрациялары Көктеңгір рудалы торабындағы Заозерное және Тастыкол кен орындарында байқалды. Грачев тобының кейбір учаскелерінде самарий, лютэций, скандий, гафний, сүрме, цирконий, ниобий, иттрий және европий элементтері жоғары деңгейде кездеседі. Балқаш торабындағы кен орындарында тантал, гафний, сондай-ақ европий, иттэрбий және лютэций ішінара байқалады. Шоққарағай тобының рудалы көріністері сирек металдар мен сирекжер элементтерінің ерекше құрамымен ерекшеленеді. Донецк және Сырымбет кен орындарының қалайы кендері арасында лантан, церий, самарий, европий, иттэрбий, лютэций, скандий мен гафний, кей жағдайда алтын да анықталған. Лосев кен орнындағы колумбитте самарий, иттэрбий, скандий, гафний және ураннның өнеркәсіптік деңгейдегі жоғары концентрациялары тіркелген. Геология институтының мәліметтеріне сәйкес, сирек жер элементтері Құндыбай, Жоғарғы Қайрақты,

Жанет, Оңтүстік Жаур, Көктеңкөл, Жоғарғы Эспе, Йосор, Қарасу және Қаратау фосфориттерінде де кездеседі.

Созак ауданындағы Ранг кен орнында сфен, торит, монацит, ильменит, циркон, рутил, галенит және пирит сияқты серіктес минералдар кездеседі. Алтынның концентрациясы 0,008-ден 0,3 г/м³ аралығында. Мыншункыр кен орны да осы өңірде орналасып, құрамында ильменит, циркон, анатаз, рутил, гематит, барит, пирит, сфен, торит, монацит және турмалин бар. Қарашұр кен орнында да ұқсас минералдар анықталған, оның ішінде вульфенит, малахит секілді қосымша минералдар кездеседі [41].

Жоғарғы Эспе учаскесі Шыңғыс-Тарбағатай мегаантиклиноры мен Жармин синклинорының шекарасында орналасқан. Мұнда кварц, альбит, рибекит, арфведсонит, рутил, циркон, торит, флуоцерит, монацит, ксенотим, бастнесит, пирит және басқалар бар. Минералдардың дәні 0,01-0,1 мм аралығында.

Құндыбай (Жоғарғы Иргиз) кен орнында да монацит қорлары бар [42]. Алтынды сульфидті рудалар гидротермалды пайда болған монацит пен ксенотим сияқты сирек жер минералдарына бай [43].

Қазақстанда қазіргі уақытта сирек жер элементтерін өндіру іс жүзінде жоқ, бірақ өндіріс базасы мен әлеуеті бар. Бұрынғы Иртыш химия-металлургиялық комбинаты екіге бөлініп, ТОО «Иртышская редкоземельная компания» (ИРЗК) және АО «ИХМЗ» ретінде жұмыс істейді. ИРЗК компаниясы толықтай жұмыс істемейді, себебі елде концентраттардың жеткілікті өндірісі жоқ. Қазіргі таңда рудалар мен техногендік шикізаттан сирек жер концентраттарын алу технологиялары дамуда. «Целинный Брадентон Кемикалз» (Степногорск) және минералдық тыңайтқыштар зауыты (Тараз) техногендік қалдықтардан сирек жер элементтерін өндіруді қолға алуда. Ал ИРЗК оларды өңдеп, соңғы өнім шығарумен айналысады. Қазақстанда сирек жер элементтерін өндірудің толық тізбегі қалыптасып келеді, бұл өндірістің даму деңгейін арттырады [44].

Торий реакторларын сынау тек Норвегия мен Үндістанда жүргізіледі, оған Билл Гейтс сияқты ірі инвесторлар қосылып отыр, бұл торийге деген қызығушылықты арттырады. Монацит кен орындары мен торий өндіруді зерттеу көрсеткендей, монациттер радиоактивті қалдық болып саналады және торийді тікелей тазалау іс жүзінде жүргізілмейді немесе бұл мәліметтер құпия. Осыған байланысты полиметалл, алтын және басқа кен орындарындағы қалдықтардың құрамын нақтылау маңызды. СЖЭ нарығы тез өсіп келе жатқан сектор. Олар электронды құрылғыларды ықшамдауға, гибридті көліктер мен жел турбиналарын өндіруге қажет. Мысалы, Toyota Prius аккумуляторында шамамен 10 кг лантан бар, ал жел турбиналарының магнитінде 260 кг-нан кем емес неодим қолданылады. Сондай-ақ СЖЭ түнгі көру құралдары, зымыран және басқа қару-жарақ өндірісінде, катализаторлар мен рентген пленкаларында кеңінен қолданылады. Бұл факторлар әлемдік СЖЭ өндірісінің өсімін қамтамасыз етеді және торийдің қосалқы өнім ретінде өсуіне әсер етеді.

Қорытынды

Қорытындылай келе, торий энергетика саласы үшін өте тиімді сирек кездесетін элементтердің бірі. Оның кең таралуы, жоғары энергия сыйымдылығы және радиотоксикалылығы төмен қалдықтар қалдыруы оны болашақтың экологиялық таза ядролық отыны ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Әсіресе, алтын өндірісінің жанама өнімі ретінде алынатын монацит құрамындағы торийді тиімді игеру экономикалық жағынан тиімді әрі экологиялық тұрғыда ұтымды шешім болмақ. Қазақстан аумағындағы кен орындарының геохимиялық сипаттамалары мен торийдің таралуы еліміздің бұл салада бәсекеге қабілеттілігін арттыруға негіз бола алады. Торий мен сирек кездесетін элементтерді кешенді түрде өндіру – тау-кен өнеркәсібінің жаңа даму бағыты ретінде қарастырылып, энергетикалық қауіпсіздік пен тұрақты даму мақсаттарына қол жеткізуге ықпал етеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Manchanda V.K. Thorium as an abundant source of nuclear energy and challenges in separation science // Radiochimica Acta. – 2023. – Т. 111, № 4. – P. 243-263.

2. Emblemsvag J. Safe, clean, proliferation resistant and cost-effective Thorium-based Molten Salt Reactors for sustainable development // International Journal of Sustainable Energy. – 2022. – Т. 41, № 6. – P. 514-537.

3. Houghton J. Molten Salt Reactors: Overview and Comparison of Uranium and Thorium Fuel Cycles. – 2020.
4. Li D. TruUtilization and MA transmutation in thorium-based fluorinated molten salt fast reactor // Progress in Nuclear Energy. – 2024. – T. 168. – P. 105015.
5. Occurrence of uranium, thorium and rare earth elements in the environment: A review / K.S. Patel et al // Frontiers in environmental science. – 2023. – T. 10. – P. 1058053.
6. Aziman E.S. Investigation of thorium separation from rare-earth extraction residue via electrosorption with carbonbased electrode toward reducing waste volume // Nuclear Engineering and Technology. – 2021. – T. 53, № 9. – P. 2926-2936.
7. A safer and cleaner process for recovering thorium and rare earth elements from radioactive waste residue / J. Su et al // Journal of Hazardous Materials. – 2021. – T. 406. – P. 124654.
8. Aziman E.S. Remediation of thorium (IV) from wastewater: Current status and way forward / E.S. Aziman, A.H.J. MohdSalehuddin, A.F. Ismail // Separation & Purification Reviews. – 2021. – T. 50, № 2. – P. 177-202.
9. Thorium resources as Co- and By-products of rare earth deposits. – IAEA-Tecdoc-1892, Vienna, 2019. – 68 p.
10. Kelley D.D. The US Department of Energy (DOE) is considering a proposal to operate an integrated pit disassembly and conversion demonstration process at the Los Alamos National Laboratory (LANL) / D.D. Kelley // DOE has prepared an Environmental Assessment, Pit Disassembly and Conversion Demonstration (DOE/EA-1207).
11. The chemistry of the actinide and transactinide elements / M.S. Wickleder et al. – 2006. – P. 52-160.
12. Ligun A., Afroz N. Radioactive Waste. – 2023.
13. Thorium resources as Co- and By-products of rare earth deposits. – IAEA-Tecdoc-1892, Vienna, 2019. – 68 p.
14. Международное агентство по атомной энергии (2023). Информационная система энергетических реакторов – в эксплуатации и приостановленная эксплуатация. Доступно онлайн: https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx (дата обращения: 05.01.2023).
15. Understanding rare earth elements as critical raw materials / W.L. Filho et al // Sustainability. – 2023. – T. 15, № 3. – P. 1919.
16. Thorium: geology, occurrence, deposits and resources / Barthel F.H. et al // International Symposium on Uranium Raw MAterial for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM 2014). – Vienna. Proceedings. – 2014.
17. Chemical and mineralogical characterization of Malaysian monazite concentrate / S. Udayakumar et al // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2020. – T. 37. – P. 415-431.
18. Balaram V. Sources and applications of rare earth elements / V. Balaram // Environmental Technologies to Treat Rare Earth Elements Pollution: Principles and Engineering; IWA Publishing: London, UK. – 2022. – P. 75-113.
19. Quantification of thorium and rare earth elements in Perak’s ex-mining monazite / C.R.C. Hak et al // JurnalSainsNuklear Malaysia. – 2020. – T. 32, № 1. – P. 10-19.
20. REE and Th potential from placer deposits: a reconnaissance study of monazite and xenotime from Jerai pluton, Kedah, Malaysia / F.A. Fauzi et al // Thai Geoscience Journal. – 2021. – T. 2, № 2. – P. 43-60.
21. Suwannapura V. The Influence of Rare Earth Elements on Thermal Infrared Spectra of Monazite: University of Twente, 2024.
22. Singer D.A. Long-Term Copper Production to 2100 / D.A. Singer // Mathematical Geosciences. – 2024. – T. 56, № 4. – P. 711-722.
23. Phillips N. Formation of gold deposits. – Singapore: Springer, 2022. – T. 10.
24. A responsible mining approach to the economic modeling of small-scale gold mining / O.M.S. Nico et al // World Development Perspectives. – 2024. – T. 33. – P. 100561.
25. Chitadze N. World Natural Resources and Their Impact on the Environmental Conditions of Our Planet / N. Chitadze // Perspectives on Ecological Degradation and Technological Progress. – IGI Global, 2023. – P. 42-78.
26. Meißner S. The impact of metal mining on global water stress and regional carrying capacities-a GIS-based water impact assessment / S. Meißner // Resources. – 2021. – T. 10, № 12. – P. 120.

27. Global carbon dioxide removal potential of waste materials from metal and diamond mining / L.A. Bullock et al // Frontiers in Climate. – 2021. – T. 3. – P. 694175.
28. Yıldız T.D. How can the state rights be calculated by considering a high share of state right in mining operating costs in Turkey? / T.D. Yıldız // Resources Policy. – 2022. – T. 75. – P. 102509.
29. The implication of thorium fraction on neutronic parameters of pebble bed reactor / Z. Zuhair et al // Kuwait Journal of Science. – 2021. – T. 48, № 3.
30. The absence of metamictisation in natural monazite / L. Nasdala et al // Scientific reports. – 2020. – T. 10, № 1. – P. 14676.
32. Monazite-type SmPO4 as potential nuclear waste form: insights into radiation effects from ion-beam irradiation and atomistic simulations / J.M. Leys et al // Materials. – 2022. – T. 15, № 10. – P. 3434.
33. Review of rare-earth phosphate materials for nuclear waste sequestration applications / M.R. Rafiuddin et al // ACS omega. – 2022. – T. 7, № 44. – P. 39482-39490.
34. Zglinicki K. Monazite-bearing post processing wastes and their potential economic significance / K. Zglinicki, K. Szamałek, G. Konopka // gospodarkasurowcamimineralnymi. – 2020. – T. 36.
35. Chemical and mineralogical characterization of Malaysian monazite concentrate / S. Udayakumar et al // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2020. – T. 37. – P. 415-431.
36. Annan C.A. Mineralogical and geochemical characterisation of monazite placers in the neufchâteau syncline (Belgium). – 2021.
37. Echeverry-Vargas L. Recovery of light rare earth elements, cerium, lanthanum, and neodymium from alluvial gold mining waste from the Bagre-Nechí mining district in Colombia using acid leaching, oxalate precipitation and calcination / L. Echeverry-Vargas, N.R. Rojas-Reyes, L.M. Ocampo-Carmona // Hydrometallurgy. – 2023. – T. 216. – P. 106009.
38. Abaka-Wood G.B. The use of mining tailings as analog of rare earth elements resources: Part 1–characterization and preliminary separation / G.B. Abaka-Wood, J. Addai-Mensah, W. Skinner // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2022. – T. 43, № 6. – P. 701-715.
39. Prayogo D. Identification of Mineral Zircon (ZrSiO4) Rare Earth Metal (REM) As Smart Material for Electric Tactical Motor Bike Battery / D. Prayogo, R. Murniati, C. Likitaporn // International Journal of Applied Mathematics, Sciences, and Technology for National Defense. – 2024. – T. 2, № 1. – P. 29-36.
40. Казахстан может стать основным поставщиком тория 28 мая 2014 altaynews.kzhttps://www.atomic-energy.ru/news/2014/05/28/49202.
41. Россыпи золота Казахстана / Х.А. Беспаев и др. // Справочник Алматы, 1999, 228 с.
42. Ермұханбетов Е.Е. Вещественный состав вмещающих пород и коренных руд на месторождении Верхний Иргиз / Е.Е. Ермұханбетов, М.К. Кембаев // труды Сатпаевских чтений «Сатпаевские чтения – 2020» Алматы 2020. С.27-30.
43. Еекрасоба Р.Л. Куларит – аутигенная разновидность монацита / Р.Л. Еекрасоба, Е.Е. Еекрасоб // ДАН. – 1983. – Т. 268. – С. 688-693.
44. О возможности создания редкоземельной отрасли в РК журнале «Промышленность Казахстана», №5, октябрь 2008 г.) МадалиНайманбаевhttps://proza.ru/2009/02/05/425.

References

1. Manchanda V.K. Thorium as an abundant source of nuclear energy and challenges in separation science // Radiochimica Acta. – 2023. – T. 111, № 4. – R. 243-263. (In English).
2. Emblemsvag J. Safe, clean, proliferation resistant and cost-effective Thorium-based Molten Salt Reactors for sustainable development // International Journal of Sustainable Energy. – 2022. – T. 41, № 6. – R. 514-537. (In English).
3. Houghton J. Molten Salt Reactors: Overview and Comparison of Uranium and Thorium Fuel Cycles. – 2020. (In English).
4. Li D. TruUtilization and MA transmutation in thorium-based fluorinated molten salt fast reactor / D. Li // Progress in Nuclear Energy. – 2024. – T. 168. – R. 105015. (In English).
5. Occurrence of uranium, thorium and rare earth elements in the environment: A review / K.S. Patel et al // Frontiers in environmental science. – 2023. – T. 10. – R. 1058053. (In English).
6. Aziman E.S. Investigation of thorium separation from rare-earth extraction residue via electrosorption with carbonbased electrode toward reducing waste volume / E.S. Aziman // Nuclear Engineering and Technology. – 2021. – T. 53, № 9. – R. 2926-2936. (In English).

7. A safer and cleaner process for recovering thorium and rare earth elements from radioactive waste residue / J. Su et al // Journal of Hazardous Materials. – 2021. – T. 406. – R. 124654. (In English).
8. Aziman E.S. Remediation of thorium (IV) from wastewater: Current status and way forward / E.S. Aziman, A.H.J. MohdSalehuddin, A.F. Ismail // Separation & Purification Reviews. – 2021. – T. 50, № 2. – R. 177-202. (In English).
9. Thorium resources as Co- and By-products of rare earth deposits. – IAEA-Tecdoc-1892, Vienna, 2019, 68 p. (In English).
10. Kelley D.D. The US Department of Energy (DOE) is considering a proposal to operate an integrated pit disassembly and conversion demonstration process at the Los Alamos National Laboratory (LANL) / D.D. Kelley // DOE has prepared an Environmental Assessment, Pit Disassembly and Conversion Demonstration (DOE/EA-1207). (In English).
11. The chemistry of the actinide and transactinide elements / M.S. Wickleder et al. – 2006. – R. 52-160. (In English).
12. Ligun A., Afroz N. Radioactive Waste. – 2023. (In English).
13. Thorium resources as Co- and By-products of rare earth deposits. IAEA-Tecdoc-1892. – Vienna, 2019. – 68 p. (In English).
14. Mezhdunarodnoe agentstvo po atomnoi ehnergii (2023). Informatsionnaya sistema ehnergeticheskikh reaktorov – v ehkspluatatsii i priostanovlennaya ehkspluatatsiya. Dostupno onlain: https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx (data obrashcheniya: 05.01.2023). (In Russian).
15. Understanding rare earth elements as critical raw materials / W.L. Filho et al // Sustainability. – 2023. – T. 15, № 3. – R. 1919. (In English).
16. Thorium: geology, occurrence, deposits and resources / Barthel F.H. et al // International Symposium on Uranium Raw MAterial for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM 2014). – Vienna. Proceedings. – 2014. (In English).
17. Chemical and mineralogical characterization of Malaysian monazite concentrate / S. Udayakumar et al // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2020. – T. 37. – R. 415-431. (In English).
18. Balaram V. Sources and applications of rare earth elements / V. Balaram // Environmental Technologies to Treat Rare Earth Elements Pollution: Principles and Engineering; IWA Publishing: London, UK. – 2022. – R. 75-113. (In English).
19. Quantification of thorium and rare earth elements in Perak's ex-mining monazite / C.R.C. Hak et al // JurnalSainsNuklear Malaysia. – 2020. – T. 32, № 1. – R. 10-19. (In English).
20. REE and Th potential from placer deposits: a reconnaissance study of monazite and xenotime from Jerai pluton, Kedah, Malaysia / F.A. Fauzi et al // Thai Geoscience Journal. – 2021. – T. 2, № 2. – R. 43-60. (In English).
21. Suwannapura V. The Influence of Rare Earth Elements on Thermal Infrared Spectra of Monazite: University of Twente, 2024. (In English).
22. Singer D.A. Long-Term Copper Production to 2100 / D.A. Singer // Mathematical Geosciences. – 2024. – T. 56, № 4. – R. 711-722. (In English).
23. Phillips N. Formation of gold deposits. – Singapore: Springer, 2022. – T. 10. (In English).
24. A responsible mining approach to the economic modeling of small-scale gold mining / O.M.S. Nico et al // World Development Perspectives. – 2024. – T. 33. – R. 100561. (In English).
25. Chitadze N. World Natural Resources and Their Impact on the Environmental Conditions of Our Planet / N. Chitadze // Perspectives on Ecological Degradation and Technological Progress. – IGI Global, 2023. – R. 42-78. (In English).
26. Meißner S. The impact of metal mining on global water stress and regional carrying capacities—a GIS-based water impact assessment / S. Meißner // Resources. – 2021. – T. 10, № 12. – R. 120. (In English).
27. Global carbon dioxide removal potential of waste materials from metal and diamond mining / L.A. Bullock et al // Frontiers in Climate. – 2021. – T. 3. – R. 694175. (In English).
28. Yıldız T.D. How can the state rights be calculated by considering a high share of state right in mining operating costs in Turkey? / T.D. Yıldız // Resources Policy. – 2022. – T. 75. – R. 102509. (In English).
29. The implication of thorium fraction on neutronic parameters of pebble bed reactor / Z. Zuhair et al // Kuwait Journal of Science. – 2021. – T. 48, № 3. (In English).

30. The absence of metamictisation in natural monazite / L. Nasdala et al // Scientific reports. – 2020. – T. 10, № 1. – R. 14676. (In English).
32. Monazite-type SmPO4 as potential nuclear waste form: insights into radiation effects from ion-beam irradiation and atomistic simulations / J.M. Leys et al // Materials. – 2022. – T. 15, № 10. – R. 3434. (In English).
33. Review of rare-earth phosphate materials for nuclear waste sequestration applications / M.R. Rafiuddin et al // ACS omega. – 2022. – T. 7, № 44. – R. 39482-39490. (In English).
34. Zglinicki K. Monazite-bearing post processing wastes and their potential economic significance / K. Zglinicki, K. Szamałek, G. Konopka // gospodarkasurowcamimineralnymi. – 2020. – T. 36. (In English).
35. Chemical and mineralogical characterization of Malaysian monazite concentrate / S. Udayakumar et al // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2020. – T. 37. – R. 415-431. (In English).
36. Annan C.A. Mineralogical and geochemical characterisation of monazite placers in the neufchâteau syncline (Belgium). – 2021. (In English).
37. Echeverry-Vargas L. Recovery of light rare earth elements, cerium, lanthanum, and neodymium from alluvial gold mining waste from the Bagre-Nechí mining district in Colombia using acid leaching, oxalate precipitation and calcination / L. Echeverry-Vargas, N.R. Rojas-Reyes, L.M. Ocampo-Carmona // Hydrometallurgy. – 2023. – T. 216. – R. 106009. (In English).
38. Abaka-Wood G.B. The use of mining tailings as analog of rare earth elements resources: Part 1–characterization and preliminary separation / G.B. Abaka-Wood, J. Addai-Mensah, W. Skinner // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2022. – T. 43, № 6. – R. 701-715. (In English).
39. Prayogo D. Identification of Mineral Zircon (ZrSiO4) Rare Earth Metal (REM) As Smart Material for Electric Tactical Motor Bike Battery / D. Prayogo, R. Murniati, C. Likitaporn // International Journal of Applied Mathematics, Sciences, and Technology for National Defense. – 2024. – T. 2, № 1. – R. 29-36. (In English).
40. Kazakhstan mozhet stat' osnovnym postavshchikom toriya 28 maya 2014 altaynews.kzhttps://www.atomic-energy.ru/news/2014/05/28/49202. (In Russian).
41. Rossypi zolota Kazakhstana / X.A. Bespaev i dr. // Spravochnik Almaty, 1999, 228 s. (In Russian).
42. Ermұkhanbetov E.E. Veshchestvennyi sostav vmeshchayushchikh porod i korennykh rud na mestorozhdenii Verkhnii Irgiz / E.E. Ermұkhanbetov, M.K. Kembaev // trudy Satpaevskikh chtenii «Satpaevskie chteniya – 2020» Almaty 2020. S.27-30. (In Russian).
43. Eekrasoba R.L. Kularit – autigennaya raznovidnost' monatsita / R.L. Eekrasoba, E.E. Eekrasob // DAN. – 1983. – T. 268. – S. 688-693. (In Russian).
44. O vozmozhnosti sozdaniya redkozemel'noi otrasli v RK zhurnale «Promyshlennost' KazakhstanA», №5, oktyabr' 2008 g.) MadalINaimanbaevhttps://proza.ru/2009/02/05/425. (In Russian).

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеу жұмысын Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитетінің «ИРН BR24993225 «Қазақстан энергетикасы үшін жаңа үлгідегі модульдік атом реакторларының әлеуетті ядролық отыны ретінде кешенді зерттеу» ғылыми жоба шеңберінде қаржыландырды.

С.К. Танирбергенова[1], З.А. Мансуров[1], З. Инсепов[2], Б.Т. Лесбаев[1], А.Ө. Әкімбек[1]*
[1]Институт проблем горения,
050012, Республика Казахстан, г. Алматы, у. Богенбай батыра, 172.
[2]Nazarbayev University,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, проспект Кабанбай батыра, 53.
*e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРИЕВЫХ ОТХОДОВ В СОСТАВЕ МОНАЦИТА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В условиях роста глобального спроса на экологически чистую и устойчивую энергию особое внимание привлекает использование тория в качестве ядерного топлива. Данная исследовательская работа направлена на комплексный анализ возможностей переработки

горнодобывающих промышленных отходов, содержащих торий, с целью их применения в ториевой энергетике. В работе рассматривается минерал монацит как ключевой источник тория, образующийся в отвалах золотодобывающей и редкоземельной промышленности. Проведены теоретические исследования, направленные на разработку математических моделей активной зоны ториевого реактора с использованием программных комплексов ANSYS и COMSOL Multiphysics. Модели учитывают процессы переноса нейтронов, теплообмена, течения теплоносителя и механических напряжений. Также исследованы физико-химические методы извлечения тория из отходов с целью минимизации экологических рисков.

Представлены данные по геологии и запасам тория в Казахстане, где определены перспективные месторождения, в том числе в Мангистауской области, Южно-Казахстанской области и Северо-Казахстанской области. Результаты исследования подчеркивают высокую технологическую и экологическую целесообразность развития ториевой энергетики в Республике Казахстан и создают научную основу для внедрения реакторов IV поколения на основе тория.

Ключевые слова: *торий, ториевая энергетика, монацит, золото, отходы, горнодобывающая промышленность, реакторы, ядерная энергетика.*

S.K. Tanirbergenova[1], Z.A. Mansurov[1], Z. Insepov[2], B.T. Lesbayev[1], A.O. Akimbek[1]*

[1]The Institute Of Combusting Problems,
050012, Republic of Kazakhstan, Almaty, Bogenbai Batyr Street, 172.
[2]Nazarbayev University,
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Kabanbai Batyr Avenue, 53.
*e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru

PROSPECTS FOR THE USE OF THORIUM WASTE AS PART OF MONAZITE IN THE ENERGY INDUSTRY

In the context of growing global demand for environmentally friendly and sustainable energy, the use of thorium as a nuclear fuel attracts special attention. This research work is aimed at a comprehensive analysis of the possibilities of processing mining industrial waste containing thorium, with a view to their use in thorium energy. The paper considers the mineral monazite as a key source of thorium formed in the dumps of the gold mining and rare earth industries. Theoretical studies have been conducted aimed at developing mathematical models of the thorium reactor core using the ANSYS and COMSOL Multiphysics software systems. The models take into account the processes of neutron transfer, heat transfer, coolant flow, and mechanical stresses. Physico-chemical methods of thorium extraction from waste have also been investigated in order to minimize environmental risks. Data on the geology and reserves of thorium in Kazakhstan are presented, where promising deposits have been identified, including in the Mangystau region, South Kazakhstan region and North Kazakhstan region. The results of the study emphasize the high technological and environmental feasibility of developing thorium energy in the Republic of Kazakhstan and create a scientific basis for the introduction of fourth-generation thorium-based reactors.

Key words: *thorium, thorium energy, monazite, gold, waste, mining industry, reactors, nuclear energy.*

Авторлар туралы мәліметтер

Сандугаш Кудайбергеновна Танирбергенова – химия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, ШЖҚ РМК «Жану проблемалары институты» бас директордың ғылым жөніндегі орынбасары; e-mail: sandu2201@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6377-0913.

Зулхаир Аймухаметович Мансуров – химия ғылымдарының докторы, профессор, ШЖҚ РМК «Жану проблемалары институты» ғылыми жетекшісі; e-mail: Zmansurov@kaznu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8956-216X.

Зинетула Инсепов – техника ғылымдарының докторы, Nazarbayev University профессоры; e-mail: zinsepov@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8079-6293.

Бахытжан Тастанович Лесбаев – химия ғылымдарының кандидаты, ШЖҚ РМК «Жану проблемалары институты» бас ғылыми қызметкері; e-mail: Lesbayev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0309-1935.

Арайлым Өтегенқызы Әкімбек* – жаратылыстану ғылымдарының магистрі, ШЖҚ РМК «Жану проблемалары институты» ғылыми қызметкері; e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8307-6059.

Сведения об авторах

Сандугаш Кудайбергеновна Танирбергенова – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, заместитель генерального директора по науке в РГП на ПХВ «Институт проблем горения»; e-mail: sandu2201@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6377-0913.

Зулхаир Аймухаметович Мансуров – доктор химических наук, профессор, научный руководитель в РГП на ПХВ «Институт проблем горения»; e-mail: Zmansurov@kaznu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8956-216X.

Зинетула Инсепов – доктор технических наук, профессор Nazarbayev University; e-mail: zinsepov@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8079-6293.

Бахытжан Тастанович Лесбаев – кандидат химических наук, главный научный сотрудник в РГП на ПХВ «Институт проблем горения»; e-mail: Lesbayev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0309-1935.

Арайлым Өтегенқызы Әкімбек* – магистр естественных наук, научный сотрудник в РГП на ПХВ «Институт проблем горения»; e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8307-6059.

Information about the authors

Sandugash Tanirbergenova – Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher, Deputy Director General for Science at the RSE REM «The institute of combusting problems»; e-mail: sandu2201@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6377-0913.

Zulkhair Mansurov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Scientific Supervisor at the RSE REM «The institute of combusting problems»; e-mail: Zmansurov@kaznu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8956-216X.

Zinetula Insepov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Nazarbayev University; e-mail: zinsepov@nu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8079-6293.

Bakhytzhan Lesbayev – Candidate of Chemical Sciences, Chief Researcher at the RSE REM «The institute of combusting problems»; e-mail: Lesbayev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0309-1935.

Arailym Akimbek* – Master of Natural Sciences, researcher at the at the RSE REM «The institute of combusting problems»; e-mail: arajlym.akimbekova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8307-6059.

Редакцияға енуі 07.08.2025
Өңдеуден кейін түсуі 29.09.2025
Жариялауға қабылданды 30.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-66

МРНТИ 31.17.15; 31.15.17; 31.15.17; 31.15.25

CC BY 4.0
Check for updates

Б.Қ. Қасенов[1]*, Ш.Б. Қасенова[1], Ж.И. Сағынтаева[1], Е.Е. Қуанышбеков[1], М.А. Исабаева[2]
[1]Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты,
100009, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ., Ермеков к-сі, 63
[2]Торайғыров университеті,
140008, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломов к-сі, 64
*e-mail: kasenov1946@mail.ru

$LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ КУПРАТ-ВАНАДАТ-МАНГАНИТІНІҢ СИНТЕЗІ, РЕНТГЕНОГРАФИЯСЫ ЖӘНЕ ТЕРМОДИНАМИКАСЫ

Аңдатпа: *Мақалада купрат-ванадат-манганит $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ қосылысының синтезі, рентгенографиялық және термодинамикалық зерттеулерінің нәтижелері ұсынылған. Керамикалық технологияны қолдана отырып, жаңа $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ купрат-ванадат-манганиті синтезделді. Құрылымдық талдау рентгендік дифракция (РФА) әдісімен жүргізілді. Рентгенограммаларды индицирлеу аналитикалық әдіспен орындалды. Пикнометриялық тығыздықтар 1 (бір) мл көлемді шыны пикнометрлерде 3 (үш) рет анықталып, деректердің орташа мәндері есептелді. Нәтижелер $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ қосылысының тор параметрлері: a=14,01 ± 0,01 Å; Z=4; V^o=2747,18 ± 0,03 Å³; $V^o_{эл.ұяш.}$=686,87 ± 0,87 Å³, $\rho_{рент.}$=4,27 және $\rho_{пикн.}$=4,26 ± 0,005 г/см³ кубтық сингонияда кристалданатынын көрсетеді. ИТ-С-400 сериялық калориметрінде 298.15–673 К аралығында $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігі зерттелді. Құралдың калибрлеуі жылуөлшегіштің жылу өткізгіштігін анықтау негізінде жүзеге асырылды. Осы мақсатта мыс үлгісімен және бос ампуламен эксперименттер жүргізілді. Әр температурада (25 К сайын) бес параллель тәжірибе орындалып, нәтижелері математикалық статистика әдістерімен орташа есептеліп өңделді. Құрылғы жұмысы α-Al_2O_3-тың жылу сыйымдылығын анықтау арқылы тексерілді.*

*Тәжірибелік деректер негізінде температураға тәуелділікті сипаттайтын теңдеулер анықталды. Анықталғандай, $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ 348 К температурада λ-тәрізді әсерге ұшырайды, бұл, шамамен, II-текті фазалық ауысуға қатысты болуы мүмкін. Есептік әдіспен зерттелген купрат-ванадат-манганитінің H°(T)-H°(298,15), S°(T), Ф**(T) термодинамикалық функцияларының мәндері бағаланды. Зерттеу нәтижелері осы қосылыстың электрфизикалық қасиеттерін әрі қарай зерттеу үшін маңызды болып табылады, сондай-ақ құнды физика-химиялық қасиеттерді болжау және $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ зертханалық тәжірибелік үлгісін паспорттау үшін қызығушылық тудырады.*

Түйін сөздер: *Купрат-ванадат-манганит, қатты фазалық синтез, рентгенография, термодинамика, жылу сыйымдылық.*

Кіріспе

Қазіргі уақытта перовскитке ұқсас манганиттер өздерінің айрықша қасиеттерінің, атап айтқанда, орасан зор магниттік кедергісі, алып диэлектрлік өтімділігі және алып магнитострикциясының арқасында ең келелі функционалдық материалдардың бірі болып табылады. Бұл материалдар практикалық қолдануға айтарлықтай әлеуетке ие және магниттік датчиктерде, магниторезистивті ақпаратты оқуға арналған бастар мен магниторезистивті жедел жадыда, сондай-ақ басқа да құрылғыларда қолданылуы мүмкін [1-11].

Жұмыста $LaMn_{1-x}V_xO_3$ манганит үлгілері қарастырылған, олардағы ванадий мөлшері формулалық бірліктер бойынша 0,1-ден 0,9-ға дейін жетеді және 1473 К температурада $1{,}3\cdot10^{-3}$ Па қалдық қысымында вакуумда синтезделген. Марганецті ванадиймен алмастырған кезде орторомбиялық кристалдық құрылым сақталатыны анықталды, ал магниттік құрылым ванадий концентрациясы 0,4-тен төмен болғанда көлбеу антиферромагниттік тәртіптен, x=0,9 кезінде коллинеарлық антиферромагниттік тәртіпке ауысады, аралықта спиндік шыны күйі арқылы өтеді. 1,9 Тл өрісіндегі меншікті магниттелу ванадий мөлшерінің өсуіне қарай 40-тан 1 А·м²/кг дейін азаяды.

Керамикалық $La_{0.65}Sr_{0.35}Mn_{0.95}V_{0.05}O_3$, $La_{0.55}Sr_{0.45}Mn_{0.95}V_{0.05}O_3$, $La_{0.45}Sr_{0.55}Mn_{0.90}V_{0.10}O_3$ перовскитке ұқсас манганит үлгілері синтезделді [13]. Бірінші құрам ромбоэдрлік кристалдық құрылымға, ал екінші және үшінші құрамдар орторомбиялық құрылымға ие. Барлық үлгілер SrV_2O_5 қоспасын қамтиды, оның мөлшері стронций мен ванадийдің үлесін арттыру кезінде ондық бөлшектерден 2,5 массалық % дейін өседі. Стронций мен ванадий мөлшерін арттырған сайын 80 К кезіндегі меншікті магниттелу 71,8-ден 49,2 А · м²/кг дейін азаяды, ал Кюри температурасы 326 К-дан 340 К-ге дейін артады. Ферромагниттен парамагнитке ауысу температуралық аралығының кеңеюі байқалады, бұл үлгілердің біртектілігінің төмендеуін көрсетеді. Бірінші екі құрамның манганиттері 120-300 К температура диапазонында металл тәрізді өткізгіштікке ие. Стронций мен ванадий мөлшері ең жоғары манганит ($La_{0.45}Sr_{0.55}Mn_{0.90}V_{0.10}O_3$) жартылай өткізгіш қасиеттерін көрсетеді.

[14] жұмыста жаңа $Sr_{1-x}Ca_xMn_{1-y}V_yO_{3-\delta}$. манганиттерінің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Әртүрлі құрылымдық модификациялардың концентрациялық шектерінің бар екендігі анықталған.

Жоғарыдағы әдебиеттерде ванадийдің магниттік құрылымға әсері айқын көрсетілген; бұл оның химиялық құрам арқылы магниттік тәртіпті басқарудағы әлеуетін растайды. Осыған байланысты, жаңа материалдарда да осындай реттеу мүмкіндігінің өзектілігі арта түседі.

Аталған жұмыстың мақсаты $LaLi_2CuVMnO_{7,5}$ купрат-ванадат-манганитін синтездеп, оның рентгенографиялық және термодинамикалық қасиеттерін зерттеуге бағытталған, бұл болашақта электрофизикалық сипаттамаларын кешенді талдауға негіз бола алады.

Зерттеу әдістері

$LaLi_2CuVMnO_{7,5}$ купрат-ванадат-манганитінің синтезі керамикалық технология бойынша жүзеге асырылды. Синтез үшін «айрықша таза» маркалы лантан (III) оксиді, мыс (II), ванадий (V), марганец (III) оксидтері және «талдау үшін таза» маркалы литий карбонаты қолданылды.

Заттар адсорбциялық ылғалды жою үшін алдын ала 300 °С температурада күйдірілді. Содан кейін осы заттардың стехиометриялық мөлшері (реакция теңдеуі (1) төмендегідей 15 грамм мақсатты қосылысқа бастапқы заттар: $m(La_2O_3)$=5.5259 г; $m(Li_2CO_3)$=2.5064 г; m(CuO)=5.5259 г; $m(V_2O_5)$=2.5064 г) мұқият араластырылып, $LaLi_2CuVMnO_{7,5}$ купрато-ванадато-манганитінің құрамын алу үшін агат келіде ұсақталды.

$$La_2O_3 + 2Li_2CO_3 + 2CuO + V_2O_5 + Mn_2O_3 = 2LaLi_2CuVMnO_{7.5} + 2CO_2\uparrow, \quad (1)$$

Алынған қоспа 600 °С-та қыздырылған алунд тигеліне салынып, «SNOL» муфель пешінде 5 сағат бойы сол температурада күйдірілді. Кейін қоспа бөлме температурасына

дейін эксикаторда салқындатылып, араластыру және ұсақтау процестері қайталанды. Одан кейін қоспа 700°С температурада 10 сағат бойы термиялық өңдеуден өткізіліп, бөлме температурасына дейін эксикаторда салқындатып, араластыру және ұсақтау жүргізілді. Бұл процестер 800°С температурада 15 сағат бойы және 1000°С температурада 15 сағат бойы қайталанды. Қайта араластыру және ұсақтау операцияларынан кейін төмен температуралық тепе-теңдік фазасына жету үшін қоспа 400 °С температурада 10 сағат бойы төмен температуралық күйдіру процесінен өтті. $LaLi_2CuVMnO_{7,5}$ купрат-ванадат-манганитін нақты алу тәсілі [15] келтірілген.

Алынған фазаларға рентгенофазалық талдау ДРОН-2.0 қондырғысында жүргізілді. Түсіру шарттары: CuKα – сәулелену, U = 30 кВ, I = 10 мА, айналу жылдамдығы – секундына 100 импульс, уақыт тұрақтысы τ = 5 сек, 2θ бұрышының аралығы 10-нан 90°-қа дейін. Дифракциялық максимумдардың қарқындылығы жүз балдық шкала бойынша бағаланды.

Кристаллографиялық индекстер деп элементар ұяшықтың a, b және c қабырғаларын берілген жазықтықтар жүйесімен бөлетін бөліктер санына тең болатын үш бүтін санды (hkl) түсінеді. Индекстер (hkl), d_{hkl} мәні және тор периоды a, b, c арасында математикалық тәуелділік бар. Әрбір сингония үшін бұл тәуелділік өз теңдеуімен сипатталуы мүмкін. Кубтық кристалдар үшін, мұнда a = b = c, α = β = γ = 90°, квадратикалық формула келесі түрде жазылады (2), [16]:

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}, \quad (2)$$

мұндағы a – кристалл торының параметрі, d – жазықтықаралық қашықтық.

Кристалдық қосылыстың химиялық формуласын құрылымдағы атомдар санының қатынасымен, бүтін коэффициенттерді қолданып көрсетуге болады. Осыған байланысты формулалық бірліктер саны (Z) стехиометриялық коэффициенттерді қаншаға көбейту қажеттігін көрсетеді, бұл белгілі бір элементтің атомдарының бір элементар ұяшыққа сәйкес келетін санын анықтау үшін қажет. Элементар ұяшық параметрлерін анықтай отырып, формулалық бірліктер санын есептеуге болады (3) [16].

$$Z = \frac{V \cdot \rho_{эксп.}}{1{,}66 \cdot M}, \quad (3)$$

мұндағы V – ұяшықтың көлемі, Mr – молекулалық масса.

Кубтық сингония үшін зерттеліп отырған фазаның кристалл торының көлемі (Vº) формула (4) бойынша анықталды:

$$V° = a^3. \quad (4)$$

Синтезделген ванадат-купрат-манганитінің элементар ұяшықтарының теориялық көлемдері олардың құрамына кіретін оксидтердің элементар ұяшықтарының көлемдері бойынша сенімді әдеби деректерді [17], [18] пайдалана отырып, схема (5) арқылы есептелді:

$$V^0_{эл.ұяш.}\,LaLi_2CuVMnO_{7.5} = 0{,}5V^0_{эл.ұяш.}La_2O_3 + V^0_{эл.ұяш.}Li_2O + V^0_{эл.ұяш.}CuO + 0{,}5V^0_{эл.ұяш.}V_2O_5 + 0{,}5\,V^0_{эл.ұяш.}Mn_2O_3, \quad (5)$$

Зерттелген қосылыстардың рентгендік (есептелген) тығыздығы ($\rho_{рент.}$) теңдеу (3) негізінде формула (6) бойынша анықталды:

$$\rho_{рент} = \frac{1{,}66 \cdot Mr \cdot Z}{V^0}, \quad (6)$$

мұндағы Mr – қосылыстың молекулалық салмағы, Z – ұяшықтағы формулалық бірліктер саны.

Рентгенограммаларды индицирлеу аналитикалық әдіспен жүргізілді [19]. Индицирлеу нәтижелері 1-ші кестеде көрсетілген.

Рентгенограмманы дұрыс индицирлеуді тексеру үшін жазықтықаралық қашықтықтардың мәндерін және оларға сәйкес келетін hkl мәндерін есептеу қажет. Индицирлеу және есептеудің сапалық критерийі эксперименттік және есептелген жазықтықаралық қашықтықтар мәндерінің ($d_{эксп}$, $d_{есеп}$) сәйкес келу дәрежесі болып табылады. Бұдан басқа, ұяшық параметрлері дұрыс анықталған жағдайда формулалық бірліктер саны бүтін санға жақын болады. Эксперименттік және есептелген тығыздық мәндерінің арасында жақсы сәйкестік болуы тиіс [20].

Пикнометриялық тығыздықтар белгілі әдістеме бойынша [21] көлемі 1 мл шыны пикнометрлерде анықталды. Индифферентті сұйықтық ретінде толуол қолданылды, өйткені ол бұл қосылыстарды жақсы сіңіріп алады, оларға қатысты химиялық инертті және оның тығыздығы температураның өзгеруіне тұрақтылық көрсетеді.

Қосылыстардың тығыздығы (7, 8) формулалар бойынша есептелді [21]:

$$\rho_2 = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} \cdot \rho_1, \quad (7)$$

$$\rho = \frac{м_3 - м_0}{\frac{м_1 - м_0}{\rho_1} - \frac{м_4 - м_3}{\rho_2}}, \quad (8)$$

мұндағы M_0 – бос пикнометрдің массасы,, г; M_1 – пикнометрдің суымен бірге массасы, г; M_2 – пикнометрдің толуолмен бірге массасы, г; M_3 пикнометрдің зерттелген затпен бірге массасы, г; M_4 – пикнометрдің толуолмен және затпен бірге массасы, г; ρ_1 – судың берілген ауа температурасына сәйкес тығыздығы, г/см³ (анықтамалық мән); ρ_2 – толуолдың тығыздығы, г/см³.

Қосылыстардың тығыздығы үш рет өлшеніп, нәтижелер орташа мән ретінде есептелді.

Синтезделген $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ купрат-ванадат-манганитінің жылу сыйымдылығы 298,15 – 673 К температуралық диапазонында сериялық ИТ-С-400 калориметрінде зерттелді. Зерттеулер үлгіні орташа жылдамдығы шамамен 0,1 К/с болатын біртіндеп қыздыру режимінде жүргізілді. Үлгі мен орта арасындағы температура айырмашылығы 3-30 К шегінде сақталды. Мұндай жағдайларда температураның кешігу уақыттары жылуөлшегішпен өлшенді.

Айта кету керек, температура айырмашылығы жылу ағынының мәнімен анықталады. Құралдың өлшеу схемасы температура деңгейін 25°С сайын бекітілген нүктелерде өлшеуді қамтамасыз етеді. Құралды қолдану шектемесі көлемдік жылу сыйымдылығымен (Ср = 10·10⁶ Дж/К·м³) анықталды. Жылуөлшегіш ол жылу ағынын түрлендіргіш, ол ағынды өлшеуге, үлгі бетінің температурасын теңестіруге, жылулық блокта калибрлеуді жүргізуге және өлшеу қателіктерін ескеруге мүмкіндік береді.

Барлық температура диапазонында эксперименттік мәліметтерді өңдеу үшін өлшеу ұзақтығы шамамен 2,5 сағатты құрады. Құралдың төлқұжат деректері бойынша рұқсат етілген қателік шегі ±10% құрайды [22].

Құралдың калибрлеуі жылуөлшегіштің жылу өткізгіштігін (Кт) анықтау негізінде жүзеге асырылды [22, 23]. Осы мақсатта мыс үлгісімен және бос ампуламен эксперименттер жүргізілді. Әр температурада (25 К сайын) бес параллель тәжірибе орындалып, нәтижелері математикалық статистика әдістерімен орташа есептеліп өңделді.

Құрылғы жұмысы α-Al_2O_3-тың («талдау үшін таза» дәрежелі, ТУ 6.09-426-75) жылу сыйымдылығын анықтау арқылы тексерілді.

Өлшемдердің дәлдігін қамтамасыз ету үшін α-Al_2O_3-тың жылу сыйымдылығы бойынша біздің нәтижелерімізді жаңа әдеби деректермен [24] (2-кесте) салыстыру ұсынылады.

Әр температурада анықталған меншікті жылу сыйымдылық мәндерінен мольдік жылу сыйымдылықтар есептелді. Меншікті жылу сыйымдылық мәндері үшін орташа квадраттық ауытқулар ($\overline{\delta}$) есептелсе, ал мольдік жылу сыйымдылықтар үшін қателіктің кездейсоқ құрамдас бөліктері ($\overset{o}{\Delta}$) есептелді. 3-кестеде калориметриялық зерттеулердің нәтижелері берілген.

Калориметрдің техникалық мүмкіндіктерінің шектеулілігіне байланысты, зерттелетін купрат-ванадат-маганиттің стандартты энтропиясы S°(298,15) иондық энтропиялық инкремент жүйелерін [25] пайдалана отырып есептелді. Содан кейін, жылу сыйымдылықтары бойынша эксперименттік деректер және стандартты энтропияның есептелген мәндері негізінде купрат-ванадат-маганиттің $C_P°(T)$, термодинамикалық функцияларының S°(T), H°(T)-H°(298,15), $Ф^{xx}(T)$ (келтірілген термодинамикалық потенциал) температураға тәуелділіктері (9-11) теңдеулер бойынша есептелді (4-кесте).

$$S^0(T) = S^0(298,15) + \int_{298,15}^{T} \frac{C_p}{T} dT \quad , \quad (9)$$

$$H^0(T)–H^0(298,15) = \int_{298,15}^{T} C_p^0 dT \ . \quad (10)$$

$Ф^{xx}(T)$ функциясы $S^0(T)$ және $H^0(T)–H^0(298,15)$ сүйене отырып есептелінеді

$$Ф^{xx}(T) = S^0(T) - \frac{H^0(T) - H^0(298,15)}{T}. \quad (11)$$

Нәтижелер мен талқылау

Рентгенограммаларды индицирлеу аналитикалық әдіспен жүргізілді [19]. Индицирлеу нәтижелері 1-ші кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ купрат-ванадат-манганитінің рентгенограммасын индицирлеу

I/I_o	d/Å	$10^4/d^2_{тәжириб.}$	hkl	$10^4/d^2_{есепт.}$
1	2	3	4	5
50	3,40	865,05	533	865,05
100	3,20	976,56	700	985,8
16	3,07	1061	720	1066
38	2,97	1134	642	1127
50	2,96	1141	722	1147
16	2,72	1352	733	1348
18	2,55	1538	662	1529
28	2,52	1575	752	1569
46	2,48	1626	900	1630
24	2,33	1842	931	1831
26	2,03	2427	11.0.0	2434
30	2,01	2475	11.1.1	2474
26	1,95	2630	11.3.1	2635
20	1,92	2713	11.3.2	2696

Индицирлеу нәтижесінде сингония түрі мен кристалл торының параметрлері анықталды: $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ кубтық сингонияда кристалданады, тор параметрлері: a=14,01 ± 0,01 Å; Z=4; V^o=2747,18 ± 0,03 Å³; $V^o_{эл.ұяш.}$=686,87 ± 0,87 Å³, $ρ_{рент.}$=4,27 және $ρ_{пикн.}$=4,26 ± 0,005 г/см³ (12).

Қосылыстың тығыздығын анықтау нәтижелері:

1-өлшем: $t_{бөлме}$=28°C, $ρ_1$=0,99626 г/см³ , $ρ_2$=0,8692 г/см³,

$m_0 = 2.9063, m_1 = 3.7382, m_2 = 3.6321, m_3 = 4.2113, m_4 = 4.6711$, $ρ_{пикн.}$=4,2643 г/см³.

2-өлшем: $t_{бөлме}$=26°C, $ρ_1$=0,99681 г/см³ , $ρ_2$=0,8788 г/см³,

$m_0 = 2.9059, m_1 = 3.7256, m_2 = 3.6286, m_3 = 4.2993, m_4 = 4.7341$, $ρ_{пикн.}$=4,2535 г/см³.

3-өлшем: $t_{бөлме}$=26°C, $ρ_1$=0,99681 г/см³ , $ρ_2$=0,8761 г/см³,

$m_0 = 2.9059, m_1 = 3.7316, m_2 = 3.6316, m_3 = 4.3201, m_4 = 4.7552$, $ρ_{пикн.}$=4,2635 г/см³

$$ρ_{пикн.} = \frac{4,1643+4,2535+4,2635}{3} = 4,2604 \text{ г/см}^3. \quad (12)$$

Кесте 2 – Калориметр жұмысының дұрыстығын тексеру үшін пайдаланылған α-Al_2O_3-тың жылу сыйымдылығының тәжірибелік мәндерінің әдебиет деректерімен [24] салыстыруы

Т, К	$C_p°(T)$, Дж/(моль·К)		Т, К	$C_p°(T)$, Дж/(моль·К)	
	Біздің деректер	[24] деректер		Біздің деректер	[24] деректер
180	44,50	43,83	400	94,12	95,21
230	64,86	61,18	450	100,26	101,8
250	70,37	67,08	500	105,47	106,1
280	77,07	74,82	550	110,09	109,7
300	76,31	79,41	600	114,29	112,5
350	86,49	88,86	650	118,20	114,9

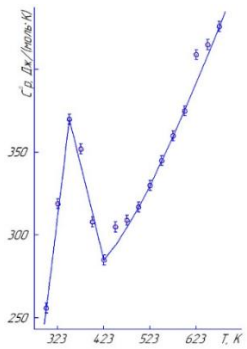
Кесте 2-де келтірілген деректер бойынша 173-673 К диапазонында α-Al_2O_3-тың жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігі бойынша біздің зерттеулеріміздің нәтижелері ИТ-С-400 калориметрінің жұмыс дәлдігі шегінде [24]-тің нәтижелерімен қанағаттанарлықтай сәйкес келеді.

Жоғарыда аталған сериялық ИТ-С-400 калориметрінде $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ купрат-ванадат-манганитінің жылу сыйымдылығы 298,15 – 673 К температуралық диапазонында зерттелді. $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ купрат-ванадат-манганитінің жылу сыйымдылығының эксперименттік мәндері төменде 3-кестеде келтірілген. Меншікті жылу сыйымдылық мәндері үшін орташа квадраттық ауытқулар ($\overline{\delta}$) есептелсе, ал мольдік жылу сыйымдылықтар үшін қателіктің кездейсоқ құрамдас бөліктері ($\overset{o}{\Delta}$) есептелді.

Кесте 3 – $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ купрат-ванадат-манганитінің жылу сыйымдылығының эксперименттік мәндері [$C_p \pm \overline{\delta}$, Дж/(К·г); $C_p^0 \pm \overset{o}{\Delta}$, Дж/(моль·К)]

Т, К	$C_P \pm \overline{\delta}$	$C_P° \pm \overset{o}{\Delta}$	*Т, К*	$C_P \pm \overline{\delta}$	$C_P° \pm \overset{o}{\Delta}$
298.15	0,5797±0,0118	256±15	498	0,7175±0,0085	317±10
323	0,7214±0,0078	319±10	523	0,7467±0,0125	330±15
348	0,8378±0,0074	370±9	548	0,7801±0,0137	345±17
373	0,7959±0,0105	352±13	573	0,8139±0,0128	360±16
398	0,6963±0,0084	308±10	598	0,8483±0,0147	375±18
423	0,6441±0,0090	285±11	623	0,9246±0,0112	409±14
448	0,6887±0,0106	305±13	648	0,9388±0,0125	415±15
473	0,6996±0,0054	309±7	673	0,9634±0,0158	426±19

Температураға тәуелділік қисығында (сурет 1) жылу сыйымдылықтың λ-тәрізді әсері 348 К кезінде анықталды, бұл II-текті фазалық ауысуға жатады.



Сурет 1 – $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ купрат-ванадат-манганиті жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігі

Бұл фазалық ауысу, шамасы, жартылай өткізгіштіктен металл өткізгіштікке ауысумен, сондай-ақ сыйымдылық өзгерістерімен, диэлектрлік өтімділіктің өзгеруімен (сегнетоэлектрлік ауысулар: Кюри нүктелері, Неель нүктелері) және басқа да құбылыстармен байланысты болуы мүмкін.

Фазалық ауысу температурасы ескеріле отырып, $C°_p \sim f(T)$ [Дж/(мольК)] тәуелділіктерін сипаттайтын теңдеулер алынды (12-14):

$$C_p = -(423{,}73 \pm 16{,}44) + (2282{,}2 \pm 88{,}55)\ 10^{-3}T,\ (298\text{-}348\ К), \quad (12)$$

$$C_p = (767{,}89 \pm 29{,}79) - (1142{,}0 \pm 44{,}31)\ 10^{-3}T,\ (348\text{-}423К), \quad (13)$$

$$C_p = -(170{,}33 \pm 6{,}61) + (823{,}39 \pm 31{,}95)\ 10^{-3}T^{+} (191{,}21 \pm 7{,}42)\ 10^{5}T^{-2},\ (423\text{-}673К). \quad (14)$$

Жылу сыйымдылықтары бойынша эксперименттік деректер және стандартты энтропияның есептелген мәндері негізінде купрат-ванадат-манганиттің $C_P°(T)$, термодинамикалық функцияларының $S°(T)$, $H°(T)$-$H°(298{,}15)$, $Ф^{xx}(T)$ температураға тәуелділіктері (9-11) теңдеулер бойынша есептелді (4-кесте)

Кесте 4 – $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ купрат-ванадат-манганитінің термодинамикалық функцияларының температураға тәуелділіктері [$C_P°(T)$, $S°(T)$, $Ф^{xx}(T)$, Дж/(моль·К); $H°(T)-H°(298.15)$, Дж/моль]

Т, К	$C_P°(T)$	$S°(T)$	$H°(T)-H°(298.15)$	$Ф^{xx}(T)$
298.15	256±10	267±8	-	267±18
300	261±10	269±19	520±20	267±18
325	318±12	292±20	7750±300	268±18
350	375±15	318±22	16420±640	271±19
375	340±13	342±24	25260±980	275±19
400	311±12	363±25	33400±1300	280±19
425	285±11	380±26	40440±1569	285±20
450	295±11	397±27	47690±1850	291±20
475	306±12	413±28	55190±2140	297±20
500	318±12	429±30	62980±2440	303±21
525	331±13	445±31	71090±2760	310±21
550	346±13	461±32	79550±3090	316±22
575	361±14	476±33	88380±3430	323±22
600	377±15	492±34	97600±3790	329±23
625	393±15	508±35	107230±4160	336±23
650	410±16	524±36	117270±4550	343±24
675	427±17	529±37	127740±4960	350±24

Қорытынды

Осылайша, алғаш рет 298,15-673 К аралығында $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ жылу сыйымдылығының температуралық тәуелділігі зерттелді. Тәжірибелік деректер негізінде олардың температурадан тәуелділіктерін сипаттайтын теңдеулер алынды. 348 К кезінде $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ материалының II-текті фазалық ауысуға жататын λ-тәрізді әсері анықталды. Есептеу әдісі арқылы зерттеліп отырған купрат-ванадат-манганиттің термодинамикалық функцияларының $H°(T)-H°(298,15)$, $S°(T)$, $Ф^{**}(T)$ мәндері бағаланды. Алынған нәтижелер құнды физика-химиялық қасиеттерді болжау және $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ зертханалық тәжірибелік үлгісінің төлқұжатын дайындау үшін қызығушылық тудырады.

Әдебиеттер тізімі

1. TCR and MR room-temperature enhancing mechanism of $La_{0.7}K_{0.3-x}Sr_xMnO_3$ ctramics for uncooling infrared bolometers and magnetic sensor devices / X. Guan et al // Ceram. Int. – 2021. – V. 47, № 13. – P. 18931. https://doi.org//10.1016/j.ceramint.2021.03.235.
2. Comparative study of $La_{0.5}Nd_{0.2}Ca_{0.3-x}K_xMnO_3$ (x=0.0 and 0.05) nanoparticles: Effect of A-cation size and calcination temperature / N.D. Sharma, et al // Ceram. Int. – 2019. – V.45, № 11. – P. 13637. https://doi.org//10.1016/j.ceramint.2019.04.004.
3. Electric polarization reversal and memory in a multiferroic material induced by magnetic fields / N. Hur et al // Nature. – 2004. – V.429. – P. 392. https://doi.org/10.1038/nature02572.
4. Shivakumara C. Synthesis, structural and ferromagnetic properties of $La_{1-x}K_xMnO_3$ ($0.0 \leq x \leq 0.25$) phases by solution combustion method / C. Shivakumara // Bull. Mater. Sci. – 2009. – V.32, № 4. – P.443. https://doi.org/10.1007/s12034-009-0065-1.
5. Shaikh M.W. Metallic and semi-conducting resistivity behaviour of $La_{0.7}Ca_{0.32-x}K_xMnO_3$ (x= 0.05, 0.1) manganites / M.W. Shaikh // J Theor Appl Phys – 2015. – V.9 – P. 45-58 https://doi.org//10.1007/s40094-014-0159-z.
6. Phase transomations, hyperfine and magnetic interactions in $La_{1-x}Sr_xMnO_{3+\delta}$ (x= 0.05, 0.10, 0.20; δ=0, 0.10-0.15) / D.I. Pchelina et al // J. Phys. Chem.Sol. – 2021. – V. 159. – P. 110268. https://doi.org/10.26201/ISSP.2020/FKS-2.330.
7. Magnetotransport in granular $LaMnO_{3+\delta}$ manganite with nano-sized particles / V. Markovich et al // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2008. – V. 41. – P. 185001. https://doi.org/10.1088/0022-3727/41/18/185001.
8. Ying Y. Magnetic properties and Griffiths singularity in $La_{0.45}Sr_{0.55}Mn_{1-x}Co_xO_3$ / Y. Ying // J. Magn. Magn. Mater. – 2011. – V. 323, № 1. – P. 94. https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2010.08.036.
9. Observation of a Griffiths Phase in Paramagnetic $La_{1-x}Sr_xMnO_3$/ J. Deisenhofer et al // Phys. Rev. Lett. – 2005. – V. 95, № 25. – P. 257202. https://doi.org/10.1103/PhysRevLettj.95.257202.

10. Determination of the region of existence of ferromagnetic nanostructures in the paraphase of $La_{1-x}Ba_xMnO_3$ by the EPR method / R.M. Eremina et al // JETP Lett. – 2007. – V. 85, № 1. – P. 51. https://doi.org/10.1134/S0021364007010109.
11. Size and Magnetic Characteristics of $YFeO_3$ Nanocrystals / Ya. Mittova et al // Inorg. Mater. – 2021. – V. 57, № 13. – P. 1340. https://doi.org/10.1134/S0020168522030116.
12. Ctystal stucture and magnetic state of the $LaMn_{1-x}V_xO_3$ perovskites / A.E. Teplykh et al // Physics of the Solid State. – 2000. – V. 42, № 12. – P. 2241-2249. https://doi.org/10.1134/1.1332146.
13. Структурные и электромагнитные характеристики манганитов лантан-стронциевой системы с замещением марганца ванадием / З.Р. Датская и др. // Экологический Вестник научных центров ЧЭС. – 2020. – Т. 17, № 4. – С. 25-32. https://doi.org/10.31429/vestnik-17-4-25-32.
14. Кристаллическая структура, равновесие дефектов и электрофизические свойства ванадий замещенных оксидов на основе манганита стронция / Е.И. Константинова и др. // III Всероссийская конференция «Горячие точки химии твердого тела: от новых идей к новым материалам». – Новосибирск, 2019. – С. 207.
15. Пат. KZ U № 10288 МПК C01F17/100 (2006.01). Способ получения двойных купрато-ванадато-манганитов лантана и щелочных металлов / Касенов Б.К., Касенова Ш.Б., Сагинтаева Ж.И., Куанышбеков Е.Е., Туртубаева М.О. опубл. 14.03 2025, Бюл. № 11. – 3 с.
16. Князев А.В. Основы рентгенофазового анализа / А.В. Князев, Е.В. Сулейманов // Нижегородский гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского. – Н. Новгород, 2005. – 23 с.
17. Вест А. Химия твердого тела. – Москва: Мир, 1988. – Ч. 1. – 588 с.
18. Пенкаля Т. Очерки кристаллохимии. – Москва: Химия, 1974. – 496 с.
19. Ковба Л.М. Рентгенофазовый анализ / Л.М. Ковба, В.К. Трунов. – Москва: МГУ, 1976. – 2-е изд. – 256 с.
20. Монина Л.Н. Рентгенография. Качественный рентгенофазовый анализ. – Тюмень: Тюменский гос. ун-т, 2016. – 120 с.
21. Кивилис С.С. Техника измерений плотности жидкостей и твердых тел. – Москва: Стандартгиз, 1959. – 191 с.
22. Техническое описание и инструкции по эксплуатации ИТ-С-400. – Актюбинск: Актюбинский завод «Эталон», 1986. – 48 с.
23. Теплофизические измерения и приборы / Е.С. Платунов и др. – Ленинград: Машиностроение, 1986. – 256 с.
24. Бодряков В.Ю. Корреляционные характеристики температурного коэффициента объемного расширения и теплоемкости корунда // Стекло и керамика. – 2015. – № 2. – С. 30.
25. Кумок В.Н. Проблема согласования методов оценки термодинамических характеристик // В сб.: Прямые и обратные задачи химической термодинамики. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 108.

References

1. TCR and MR room-temperature enhancing mechanism of La0.7K0.3-xSrxMnO3 ctramics for uncooling infrared bolometers and magnetic sensor devices / X. Guan et al // Ceram. Int. – 2021. – V. 47, № 13. – P. 18931. https://doi.org//10.1016/j.ceramint.2021.03.235. (In English).
2. Comparative study of La0.5Nd0.2Ca0.3-xKxMnO3 (x=0.0 and 0.05) nanoparticles: Effect of A-cation size and calcination temperature / N.D. Sharma, et al // Ceram. Int. – 2019. – V.45, № 11. – P. 13637. https://doi.org//10.1016/j.ceramint.2019.04.004. (In English).
3. Electric polarization reversal and memory in a multiferroic material induced by magnetic fields / N. Hur et al // Nature. – 2004. – V.429. – P. 392. https://doi.org/10.1038/nature02572. (In English).
4. Shivakumara C. Synthesis, structural and ferromagnetic properties of La1-xKxMnO3 (0.0 ≤x≤0.25) phases by solution combustion method / C. Shivakumara // Bull. Mater. Sci. – 2009. – V.32, № 4. – P.443. https://doi.org/10.1007/s12034-009-0065-1. (In English).
5. Shaikh M.W. Metallic and semi-conducting resistivity behaviour of La0.7Ca0.32-xKxMnO3 (x= 0.05, 0.1) manganites / M.W. Shaikh // J Theor Appl Phys – 2015. – V.9 – P. 45-58 https://doi.org//10.1007/s40094-014-0159-z. (In English).
6. Phase transomations, hyperfine and magnetic interactions in $La_{1-x}Sr_xMnO_{3+\delta}$ (x= 0.05, 0.10, 0.20; δ=0, 0.10-0.15) / D.I. Pchelina et al // J. Phys. Chem.Sol. – 2021. – V. 159. – P. 110268. https://doi.org/10.26201/ISSP.2020/FKS-2.330.

7. Magnetotransport in granular LaMnO3+ manganite with nano-sized particles / V. Markovich et al // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2008. – V. 41. – P. 185001. https://doi.org/10.1088/0022-3727/41/18/185001. (In English).
8. Ying Y. Magnetic properties and Griffiths singularity in La0.45Sr0.55Mn1-xCoxO3 / Y. Ying // J. Magn. Magn. Mater. – 2011. – V. 323, № 1. – P. 94. https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2010.08.036.
9. Observation of a Griffiths Phase in Paramagnetic La1-xSrxMnO3/ J. Deisenhofer et al // Phys. Rev. Lett. – 2005. – V. 95, № 25. – R. 257202. https://doi.org/10.1103/PhysRevLettj.95.257202. (In English).
10. Determination of the region of existence of ferromagnetic nanostructures in the paraphase of La1-xBaxMnO3 by the EPR method / R.M. Eremina et al // JETP Lett. – 2007. – V. 85, № 1. – R. 51. https://doi.org/10.1134/S0021364007010109. (In English).
11. Size and Magnetic Characteristics of YFeO3 Nanocrystals / Ya. Mittova et al // Inorg. Mater. – 2021. – V. 57, № 13. – P. 1340. https://doi.org/10.1134/S0020168522030116. (In English).
12. Ctystal stucture and magnetic state of the LaMn1−xVxO3 perovskites / A.E. Teplykh et al // Physics of the Solid State. – 2000. – V. 42, № 12. – R. 2241-2249. https://doi.org/10.1134/1.1332146. (In English).
13. Strukturnye i elektromagnitnye harakteristiki manganitov lantan-stroncievoj sistemy s zameshcheniem marganca vanadiem / Z.R. Datskaya i dr. // Ekologicheskij Vestnik nauchnyh centrov ChES. – 2020. – T. 17, № 4. – S. 25-32. https://doi.org/10.31429/vestnik-17-4-25-32. (In Russian).
14. Kristallicheskaya struktura, ravnovesie defektov i elektrofizicheskie svojstva vanadij zameshchennyh oksidov na osnove manganita stronciya / E.I. Konstantinova i dr. // III Vserossijskaya konferenciya «Goryachie tochki himii tverdogo tela: ot novyh idej k novym materialam». – Novosibirsk, 2019. – S. 207. (In Russian).
15. Pat. KZ U № 10288 MPK S01F17/100 (2006.01). Sposob polucheniya dvojnyh kuprato-vanadato-manganitov lantana i shchelochnyh metallov / Kasenov B.K., Kasenova Sh.B., Sagintaeva Zh.I., Kuanyshbekov E.E., Turtubaeva M.O. opubl. 14.03 2025, Byul. № 11. – 3 s. (In Russian).
16. Knyazev A.V. Osnovy rentgenofazovogo analiza / A.V. Knyazev, E.V. Sulejmanov // Nizhegorodskij gos. un-t im. N.I. Lobachevskogo. – N. Novgorod, 2005. 23 s. (In Russian).
17. Vest A. Himiya tverdogo tela. – Moskva: Mir, 1988. – Ch. 1. – 588 s. (In Russian).
18. Penkalya T. Ocherki kristallohimii. – Moskva: Himiya, 1974. – 496 s. (In Russian).
19. Kovba L.M. Rentgenofazovyj analiz / L.M. Kovba, V.K. Trunov. – Moskva: MGU, 1976. – 2-e izd. – 256 s. (In Russian).
20. Monina L.N. Rentgenografiya. Kachestvennyj rentgenofazovyj analiz. – Tyumen': Tyumenskij gos. un-t, 2016. 120 s. (In Russian).
21. Kivilis S.S. Tekhnika izmerenij plotnosti zhidkostej i tverdyh tel. – Moskva: Standartgiz, 1959. – 191 s. (In Russian).
22. Tekhnicheskoe opisanie i instrukcii po ekspluatacii IT-S-400. – Aktyubinsk: Aktyubinskij zavod «Etalon», 1986. – 48 s. (In Russian).
23. Teplofizicheskie izmereniya i pribory / E.S. Platunov i dr.. – Leningrad: Mashinostroenie, 1986. – 256 s. (In Russian).
24. Bodryakov V.Yu. Korrelyacionnye harakteristiki temperaturnogo koefficienta ob"emnogo rasshireniya i teploemkosti korunda / V.Yu. Bodryakov // Steklo i keramika. – 2015. – № 2. – S. 30. (In Russian).
25. Kumok V.N. Problema soglasovaniya metodov ocenki termodinamicheskih harakteristik / V.N. Kumok // V sb.: Pryamye i obratnye zadachi himicheskoj termodinamiki. – Novosibirsk: Nauka, 1987. –S. 108. (In Russian).

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл зерттеу «Минералдық және техногендік шикізатты өндіру мен кешенді қайта өңдеудің инновациялық ресурс үнемдеу технологияларын құру» атты О.1301 ҒТБ BR23991563 мақсатты қаржыландыру бағдарламасы аясында жүзеге асырылды. Жоба тақырыбы: «s-элементтер қатарындағы оксидтермен және $YBa_2Cu_3O_x$ асқын өткізгішімен легирленген жаңа жартылай өткізгіштік купрат-ванадат-маганиттерді алу технологиясының физикалық-химиялық негіздері». Зерттеу жұмыстары 2024-2026 жылдар аралығында жүргізіледі.

Б.К. Касенов[1*], Ш.Б. Касенова[1], Ж.И. Сагинтаева[1], Е.Е. Куанышбеков[1], М.А. Исабаева[2]
[1]Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева,
100009, Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Ермекова, 63
[2]Торайгыров университет,
140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64
[*]e-mail: kasenov1946@mail.ru

СИНТЕЗ, РЕНТГЕНОГРАФИЯ И ТЕРМОДИНАМИКА КУПРАТО-ВАНАДАТО-МАНГАНИТА $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$

*В статье представлены результаты синтеза, рентгенографического и термодинамического исследования соединения купрато-ванадато-манганита $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$. Используя керамическую технологию, синтезировали новый купрато-ванадато-манганита $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$. Анализ структуры был проведен методом рентгеновской дифракции (РФА). Индицирование рентгенограмм проводили аналитическим методом. Пикнометрические плотности определяли в стеклянных пикнометрах объемом 1 мл. по 3 раза и данные усреднялись. Результаты показывают, что $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ кристаллизуется в кубической сингонии с параметрами решетки: a=14,01 ± 0,01 Å; Z=4; V^o=2747,18 ± 0,03 Å³; $V^o_{эл.яч.}$=686,87 ± 0,87 Å³, $\rho_{рент.}$=4,27 и $\rho_{пикн.}$=4,26 ± 0,005 г/см³. На серийном калориметре ИТ-С-400 в интервале 298.15-673 К исследована температурная зависимость теплоемкости $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$. Калибровка прибора осуществлялась на основе определения теплопроводности теплоизмерителя. Для этой цели были проведены эксперименты с медным образцом и пустой ампулой. При каждой температуре (с шагом 25 К) выполнялось пять параллельных экспериментов, результаты которых обрабатывались методом математической статистики путем вычисления среднего значения. Работу устройства проверяли через определение теплоемкости α-Al_2O_3. На основании опытных данных выведены уравнения, описывающие зависимости от температуры. Установлено, что $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ при 348 К претерпевает λ – образный эффект, вероятно, относящегося к фазовому переходу II- рода. Расчетным методом оценены значения термодинамических функций H°(T)-H°(298,15), S°(T), Ф**(T) исследуемого купрато-ванадато-манганита. Результаты исследования являются важными для дальнейших исследований электрофизических свойств данного соединения, так же представляют интерес для прогнозирования ценных физико-химических свойств и паспортизации лабораторного опытного образца $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$.*

Ключевые слова: *Купрато-ванадато-манганит, твердофазный синтез, рентгенография, термодинамика, теплоемкость.*

B.K. Kasenov[1*], Sh.B. Kasenova[1], Zh.I. Sagintaeva[1]., E.E. Kuanyshbekov[1], M.A. Isabaeva[2]
[1]Abishev Chemical-Metallurgical Institute,
100009, Republic of Kazakhstan, Karaganda, Yermekov str., 63
[2]Toraigyrov University,
140008, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, Lomov str., 64
[*]e-mail: kasenov1946@mail.ru

SYNTHESIS, RADIOGRAPHY AND THERMODYNAMICS CUPRATE-VANADATO-MANGANITE $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$

*The article presents the results of synthesis, radiographic and thermodynamic studies of the cuprate-vanadato-manganite compound $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$. Using ceramic technology, a new cuprate-vanadato-manganite $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ was synthesized. The structure was analyzed by X-ray diffraction (XRD). The X-ray images were indicated by the analytical method. Pycnometric densities were determined in glass pycnometers with a volume of 1 ml. 3 times and the data were averaged. The results show that $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ crystallizes in cubic syngony with lattice parameters: a=14,01 ± 0,01 Å; Z=4; V^o=2747,18 ± 0,03 Å³; $V^o_{un.\ cell.}$=686,87 ± 0,87 Å³, $\rho_{x\text{-}ray.}$=4,27 and $\rho_{picn.}$=4,26 ± 0,005 g/sm³. The temperature dependence of the heat capacity of $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ was studied using a serial IT-C-400 calorimeter in the range of 298.15-673 K. The calibration of the device was carried out based on determining the thermal conductivity of the heat meter. For this purpose, experiments were conducted using a copper sample and an empty ampoule. At each temperature (in increments of 25 K), five parallel experiments were performed, and the results were processed using methods of mathematical statistics by calculating the mean value. The performance of the device was verified by determining the heat capacity of α-Al_2O_3. Based on experimental data, equations describing the temperature dependence were derived. It was established that $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ undergoes a λ-shaped effect at 348 K, which is likely related to a second-order phase transition. Using a calculation method, the values of the thermodynamic functions H°(T)-H°(298,15), S°(T), Ф**(T) for the studied cuprate-vanadate-manganite were evaluated. The research results are important for further studies of the electrophysical properties of this*

compound and are also of interest for predicting valuable physicochemical properties and the certification of the laboratory prototype of $LaLi_2CuVMnO_{7.5}$.

Key words: *Cuprate-vanadato-manganite, solid-phase synthesis, radiography, thermodynamics, heat capacity.*

Авторлар жөнінде мәлімет

Болат Қоңырұлы Қасенов* – химия ғылымдарының докторы, профессор, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты термохимиялық процестер зертханасының меңгерушісі, Қарағанды қ., Қазақстан; e-mail: kasenov1946@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9394-0592.

Шұға Болатқызы Қасенова – химия ғылымдарының докторы, профессор, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты термохимиялық процестер зертханасының бас ғылыми қызметкері, Қарағанды қ., Қазақстан; e-mail: kasenovashuga@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9755-7478.

Жеңісгүл Иманғалиқызы Сағынтаева – химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты термохимиялық процестер зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Қарағанды қ., Қазақстан; e-mail: kai_sagintaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8655-356X.

Ерболат Ермекұлы Қуанышбеков – техника ғылымдарының магистрі Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты термохимиялық процестер зертханасының аға ғылыми қызметкері, Қарағанды қ., Қазақстан; e-mail: mr.ero1986@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9172-9566.

Манар Амангелдіқызы Исабаева – химия ғылымдарының кандидаты, КЕАҚ «Торайғыров университеті» химия және химиялық технология кафедрасыны профессоры, Павлодар, Қазақстан; e-mail: isabaeva.manar@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8119-3865.

Сведения об авторах

Булат Кунурович Касенов* – доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией термохимических процессов Химико-металлургического института им. Ж.Абишева, Караганда, Казахстан; e-mail: kasenov1946@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9394-0592.

Шуга Булатовна Касенова – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории термохимических процессов Химико-металлургического института им. Ж.Абишева, Караганда, Казахстан; e-mail: kasenovashuga@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9755-7478.

Женисгуль Имангалиевна Сагинтаева – кандидат химических наук, ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории термохимических процессов Химико-металлургического института им. Ж. Абишева, Караганда, Казахстан; e-mail: kai_sagintaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8655-356X.

Ерболат Ермекович Куанышбеков – магистр технических наук, старший научный сотрудник лаборатории термохимических процессов Химико-металлургического института им. Ж. Абишева, Караганда, Казахстан; e-mail: mr.ero1986@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9172-9566.

Манар Амангельдиевна Исабаева – кандидат химических наук, профессор кафедры химии и химических технологии НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан; e-mail: isabaeva.manar@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8119-3865.

Information about authors

Bulat Kunurovich Kasenov* – Doctor of chemical sciences, professor, head of the laboratory of thermochemical processes of Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: kasenov1946@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9394-0592.

Shuga Bulatovna Kasenova – Doctor of chemical sciences, professor, chief researcher of the laboratory of thermochemical processes of Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: kasenovashuga@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9755-7478.

Zhenisgul Imangalievna Sagintaeva – candidate of chemical sciences, associate professor, leading researcher of the laboratory of thermochemical processes of Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: kai_sagintaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8655-356X.

Erbolat Ermekovich Kuanyshbekov – Master of engineering, senior research fellow of the laboratory of thermochemical processes of Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: mr.ero1986@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9172-9566.

Manar Amangeldievna Isabayeva – Candidate of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technology of NAO «Toraigyrov University», Pavlodar, Kazakhstan; e-mail: isabaeva.manar@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8119-3865.

Редакцияға енуі 04.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 27.08.2025
Жариялауға қабылданды 28.08.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-67

МРНТИ: 53.37.29

CC BY 4.0
Check for updates

Т. Сарсембеков[1]*, Т. Чепуштанова[1], Е. Меркибаев[1], Т. Янко[2], А. Золотов[3]
[1]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева,
050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22
[2]UNDERSLAB LTD OOD,
8000, Болгария, г. Бургас, ул. Александровская, 16
[3]Shakarim university,
070411, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
*e-mail: t.sarsembekov@satbayev.university

ВЫДЕЛЕНИЕ НИОБИЯ ИЗ ПРОМПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА ТЕТРАХЛОРИДА ТИТАНА

Аннотация: *В настоящей работе представлены результаты исследования по извлечению ниобия из побочных продуктов производства тетрахлорида титана, образующихся при хлорировании титанового сырья. Актуальность темы обусловлена высоким спросом на редкие металлы, ограниченностью их минеральных источников и необходимостью вовлечения техногенных образований в переработку. Объектами исследования выступали отвальный шлам титанового хлоратора, возгоны пылевой камеры и расплав пылеосадительной камеры с солевой ванной.*

Методами рентгенофлуоресцентного анализа, рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии установлено, что ниобий в указанных продуктах содержится в форме устойчивых оксидов и смешанных фаз с участием титана, алюминия, железа и кальция. Проведены эксперименты по водному и кислотному выщелачиванию с использованием соляной, серной и плавиковой кислот. Установлено, что наибольшее извлечение ниобия (до 53%) достигается при обработке фторсодержащими растворами при температуре 85-95 °С и соотношении твёрдой и жидкой фаз 1:10-1:15.

Термодинамический анализ хлорирования ниобийсодержащих соединений и построение диаграмм Пурбе подтвердили высокую устойчивость оксидов ниобия и эффективность их перевода в раствор в форме фторниобатов. Предложенный подход объединяет физико-химические методы анализа с расчётным моделированием и может быть использован при проектировании технологии селективного извлечения ниобия. Полученные результаты способствуют расширению минерально-сырьевой базы редких металлов и снижению экологической нагрузки на предприятия титановой промышленности.

Ключевые слова: *ниобий, тетрахлорид титана, промышленные побочные продукты, хлорирование, выщелачивание, экстракция, термодинамический анализ, фазовый состав, фторниобаты, переработка титансодержащего сырья.*

Введение

Производство тетрахлорида титана ($TiCl_4$) по хлорной технологии на основе ильменитового концентрата сопровождается образованием значительного количества побочных продуктов, в которых аккумулируются ценные редкие металлы, включая ниобий. В условиях роста глобального спроса на редкие элементы, а также ограниченности традиционных минеральных источников, актуальность переработки промышленных отходов, содержащих Nb, приобретает стратегическое значение как в научно-технологическом, так и в экономическом аспекте [1-3].

Основные объёмы ниобия на мировом рынке поступают из ограниченного числа месторождений, прежде всего из Бразилии, Канады и Нигерии. При этом более 85 % мирового производства обеспечивает бразильская компания CBMM (Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração) [4]. Такая концентрация ресурса делает экономику многих стран уязвимой и обусловливает необходимость поиска альтернативных источников, включая техногенные минеральные образования и отходы переработки титансодержащего сырья.

Ниобий используется в производстве жаропрочных сплавов, спецсталей, сверхпроводящих материалов, в том числе для аэрокосмической отрасли и микроэлектроники [5]. В промышленной технологии хлорирования ильменита при температуре 700-820 °С в атмосфере хлора и в присутствии восстановителя (антрацита), ниобий преимущественно

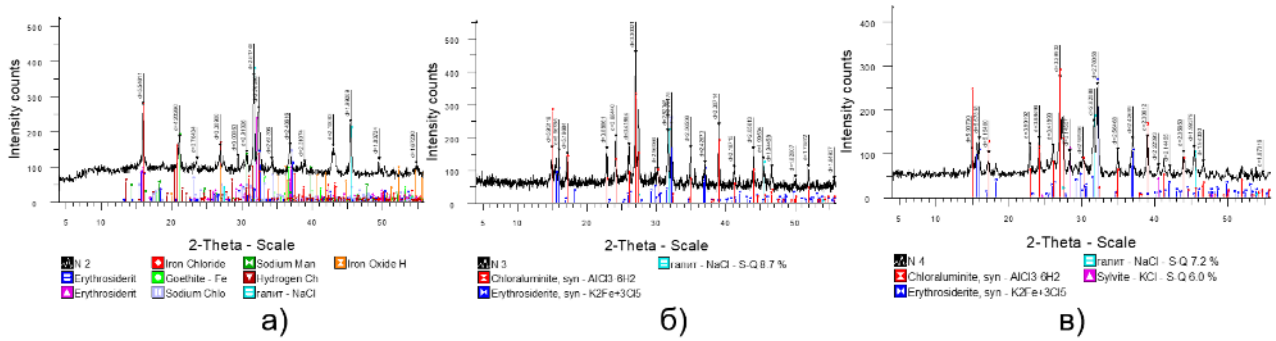
сохраняется в твёрдой фазе – в составе шлака, осадка и возгонов, образующихся в различных зонах хлорирующего агрегата [6]. Это обусловлено высокой термодинамической устойчивостью его соединений, таких как Nb_2O_5, $FeNb_2O_6$, $CaNb_2O_6$ и оксихлориды $NbOCl_3$, $NbCl_5$ [7].

В промышленных условиях хлорирования титанового сырья формируются три основных типа ниобийсодержащих продуктов: отвальный шлам титанового хлоратора (ОШТХ), возгоны пылевой камеры (ПК), а также расплав пылеосадительной камеры с солевой ванной (ПКС). Их фазовый состав представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Фазовый состав ОШТХ, возгонов ПК и расплава ПКС

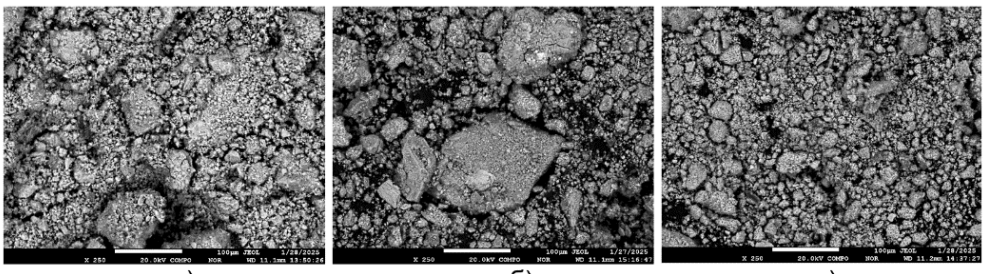
№ п/п	Название фазы	Формула	Концентрация, %
Отвальный шлам титанового хлоратора			
1	Erythrosiderite	$K_2(FeCl_5(H_2O))$	17,5
2	Erythrosiderite	$K_2Fe^{+3}Cl_5 \cdot H_2O$	17,2
3	Iron Chloride Hydrate	$FeCl_2(H_2O)_2$	15,6
4	Goethite	$Fe^{+3}O(OH)$	13,1
5	Sodium Chloride Hydrate	$NaCl(H_2O)_2$	9,8
6	Sodium Manganese Chloride	$NaMnCl_3$	8,4
7	Hydrogen Chlorate Hydrate	$HClO_4(H_2O)_3$	7,6
8	Halite	NaCl	6,3
9	Iron Oxide Hydroxide	FeO OH	4,4
Возгоны пылевой камеры			
10	Chloraluminite	AlCl3·6H2O	47,1
11	Erythrosiderite	$K_2Fe^{+3}Cl_5 \cdot H_2O$	44,2
12	Halite	NaCl	8,7
Расплав пылеосадительной камеры с солевой ванной			
13	Chloraluminite	AlCl3·6H2O	41,0
14	Erythrosiderite	$K_2Fe^{+3}Cl_5 \cdot H_2O$	45,8
15	Halite	NaCl	7,2
16	Sylvite	KCl	6,0

На рисунках 1-3 представлены дифрактограммы, микрофотографии и химический состав, определенный с помощью SEM с отражением основных и примесных элементов.



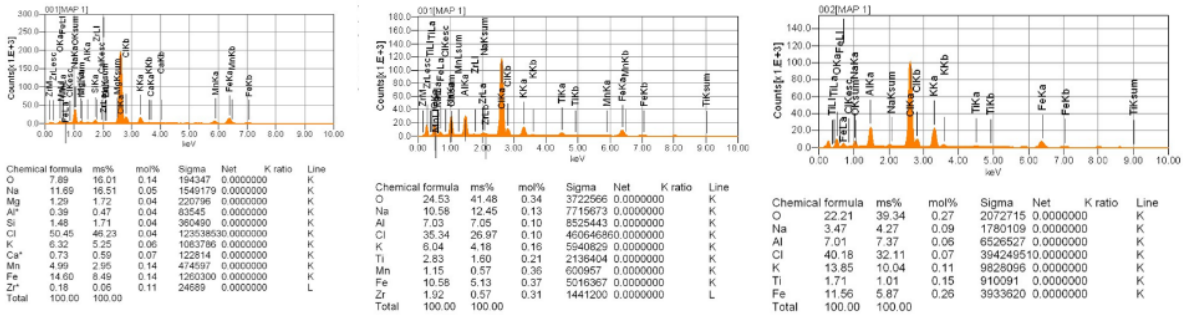
а) б) в)

Рисунок 1 – Дифрактограммы ОШТХ (а), возгонов ПК (б) и расплава ПКС (в)



а) б) в)

Рисунок 2 – Микроснимки ОШТХ (а), возгонов ПК (б) и расплава ПКС (в) с увеличением х250

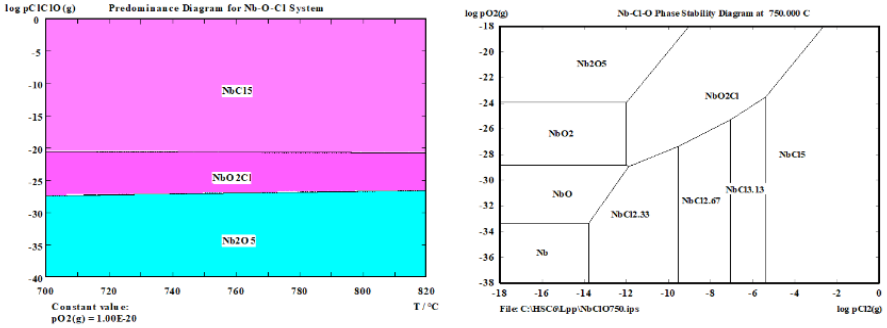


а) б) в)

Рисунок 3 – Результаты SEM анализа образцов ОШТХ (а), возгонов ПК (б) и расплава ПКС (в)

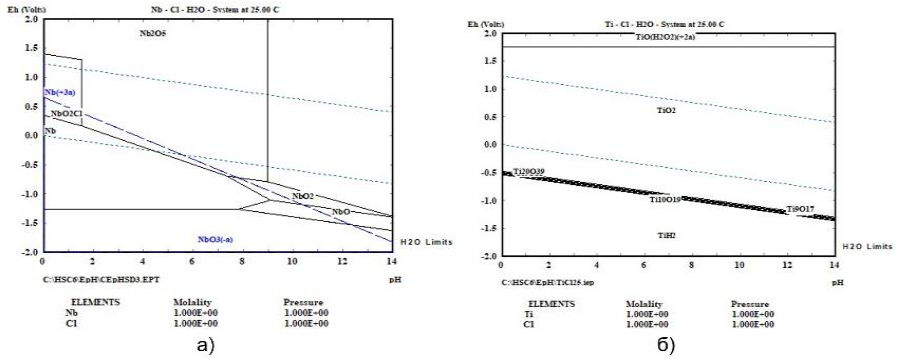
Согласно данным рентгенофазового анализа (XRD), в указанных продуктах присутствуют сложные оксидные и хлоридные фазы ниобия в сочетании с Ti, Fe, Al, Ca, K, Si и Mg.

Несмотря на наличие зарубежных разработок, в Казахстане практически отсутствует отработанная технология промышленного выделения ниобия из таких вторичных продуктов. Анализ термодинамической устойчивости соединений Nb при типовых условиях хлорирования представлен в виде диаграмм фазовой устойчивости T_{pp} и изотермической фазовой устойчивости (диаграммы Келлога) L_{pp} (рис. 4), а электрохимическое поведение элементов в водных и кислотных растворах – в диаграммах Пурбе (рис. 5-6), построенных в среде HSC Chemistry. Это позволило обосновать выбор кислотных реагентов и их сочетаний.



а) б)

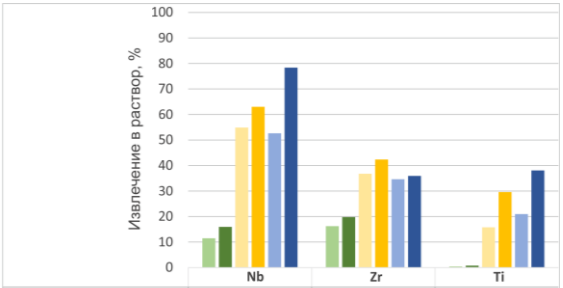
Рисунок 4 – Диаграмма T_{pp} в диапазоне температур 700-820 ºС (а) и L_{pp} при температуре 750ºС (б) системы Nb-Cl-O



а) б)

Рисунок 5 – диаграмма Пурбе систем Nb-Cl-H_2O (а) и Ti-Cl-H_2O (б)

Исследования по переработке аналогичных шламов и возгонов в мировой литературе охватывают методы кислотного выщелачивания (HCl, HF, H_2SO_4), гидрофторирования, экстракции с использованием Органических Экстрагирующих Реагентов (ОЭР), таких как трибутилфосфат (TBP), methyl isobutyl ketone (MIBK) и methyltrioctylammonium chloride (Aliquat 336) [8-12]. В ряде работ предлагаются комбинированные технологические схемы, включающие упаривание, фильтрацию, растворение и селективное извлечение целевого компонента [13-15].



	Nb	Zr	Ti
8M HCl	11,50	16,25	0,46
11M HCl	15,95	19,80	0,75
13M HF	54,89	36,78	15,81
18M HF	63,02	42,36	29,63
50%[13M HF]+50%[7M H_2SO_4]	52,63	34,65	20,97
50%[18M HF]+50%[7M H_2SO_4]	78,37	35,93	38,10

Рисунок 6 – Зависимость степени извлечения ниобия, циркония и титана от концентрации и состава выщелачивающего раствора

Таким образом, **целью настоящей работы** является разработка и экспериментальное обоснование технологии выделения соединений ниобия из промпродуктов производства тетрахлорида титана с применением упаривания, кислотного выщелачивания, экстракции и анализа фазового состава на каждой стадии.

Задачи исследования:

- охарактеризовать химический и фазовый состав ОШТХ, ПК и ПКС;
- оценить растворимость фаз с ниобием в различных условиях;
- провести термодинамическое моделирование поведения соединений Nb, Ti, Fe и других элементов;
- определить оптимальные параметры кислотного выщелачивания;
- оценить распределение ниобия по стадиям процесса и предложить эффективный способ его извлечения.

Методы исследования

Для достижения поставленных целей в исследовании были использованы физико-химические, аналитические и термодинамические методы. В качестве объектов изучения рассматривались три типа промышленных побочных продуктов, образующихся при хлорировании титанового сырья: отвальный шлам титанового хлоратора (ОШТХ), возгоны пылевой камеры (ПК), а также расплав пылеосадительной камеры с солевой ванной (ПКС).

Образцы были отобраны в горячем состоянии и охлаждены до комнатной температуры в инертной атмосфере для исключения постреакционной трансформации фаз. Морфология и микроструктура исследованы с использованием сканирующей электронной микроскопии (SEM) с системой энергодисперсионного анализа (EDS). Полученные изображения и элементные карты представлены на рисунках 1-3. Количественный фазовый состав исследованных материалов получен методом рентгенофазового анализа (XRD) и обобщён в таблице 1.

Для оценки растворимости соединений ниобия проводилось водное и кислотное выщелачивание (HCl, HF, H_2SO_4) при различных соотношениях твёрдая:жидкая (Т:Ж = 1:5-1:10), температуре 25-90 °C и времени контакта 1-6 часов. Результаты серий выщелачивания приведены в таблицах 2, 3 и 4, а обобщённые графики зависимости извлечения от условий – на рисунке 6.

Таблица 2 – Влияние соотношения Т:Ж на степень извлечения основных компонентов промпродуктов в кек

Т:Ж	Выход кека, %	Содержание в кеке, %					Извлечение в кек, %				
		Ti	Fe	Al	Zr	Nb	Ti	Fe	Al	Zr	Nb
1:4	28,00	24,23	7,45	19,67	4,14	2,25	91,19	32,08	62,72	45,63	79,15
1:6	27,60	24,34	5,45	16,71	4,13	2,29	90,31	23,13	52,51	44,87	79,41
1:8	27,00	25,74	3,59	13,42	3,93	2,48	93,42	14,92	41,26	41,76	83,85
1:10	22,72	30,17	3,44	11,37	3,93	2,53	92,13	12,01	29,43	35,17	72,24

Таблица 3 – Влияние продолжительности выщелачивания на степень извлечения основных компонентов возгона в кек

Время, час	Выход кека, %	Содержание в кеке, %					Извлечение в кек, %				
		Ti	Fe	Al	Zr	Nb	Ti	Fe	Al	Zr	Nb
1	32,80	20,96	2,72	11,80	3,91	2,06	92,40	13,70	44,09	50,45	84,57
2	35,00	19,60	2,53	10,98	3,73	1,91	92,22	13,64	43,77	51,38	83,70
4	27,00	25,74	3,59	13,42	3,93	2,48	93,42	14,92	41,26	41,76	83,85
6	29,00	24,23	3,23	10,65	3,53	2,09	94,44	14,39	35,17	40,30	75,87

Таблица 4 – Влияние температуры на степень извлечения основных компонентов промпродуктов в кек

T, °C	Выход кека, %	Содержание в кеке, %					Извлечение в кек, %				
		Ti	Fe	Al	Zr	Nb	Ti	Fe	Al	Zr	Nb
25	32,80	20,96	2,72	11,80	3,91	2,06	92,40	13,70	44,09	50,45	84,57
45	36,46	18,77	7,04	10,50	3,22	1,79	91,99	39,49	43,62	46,25	81,84
65	37,24	17,99	9,02	9,93	4,22	1,75	90,07	51,69	42,13	61,85	81,77
90	37,40	17,61	11,87	10,69	5,10	1,80	88,53	68,32	45,54	75,12	84,47

Термодинамическое моделирование проводилось в программном комплексе HSC Chemistry 6.1. Рассчитаны изменения стандартной энергии Гиббса (ΔG^{o}) для реакций хлорирования и взаимодействия с кислотами, а также построены диаграммы Пурбе для элементов Nb, Ti, Fe, Al, Si и Ca (рис. 7). Это позволило выявить температурные и pH-области устойчивости целевых фаз и обосновать выбор условий выщелачивания и экстракции [5], [7], [13].

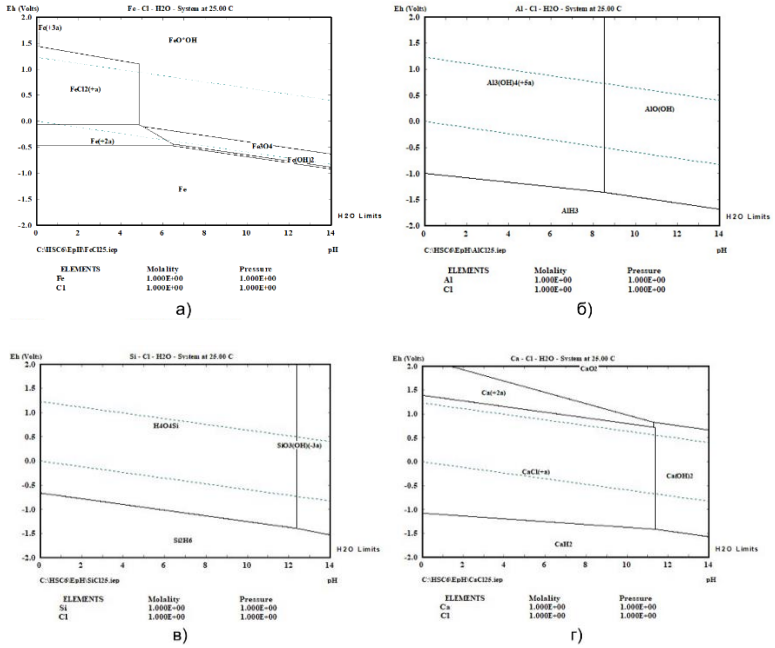


Рисунок 7 – Диаграммы Пурбе систем Fe-Cl-H_2O (а), Al-Cl-H_2O (б), Si-Cl-H_2O (в) и Ca-Cl-H_2O (г)

Результаты исследований

На основании проведённых рентгенофазового анализа и SEM-EDS микроскопии установлено, что в отвальном шламе титанового хлоратора, возгонах пылевой камеры и расплаве пылеосадительной камеры ниобий присутствует преимущественно в виде оксидов Nb_2O_5, смешанных оксидов ($FeNb_2O_6$, $CaNb_2O_6$) и комплексных фаз с титаном и алюминием. Изображения микроструктуры (рис. 1-3) свидетельствуют о тонкодисперсной структуре с равномерным распределением ниобийсодержащих включений в матрице оксидов алюминия и титана. Результаты элементного анализа представлены в таблице 1 и подтверждают наличие Nb в пределах 0,9-3,2 мас. % в зависимости от типа промпродукта.

Рентгенофазовый анализ (XRD) показал, что в исследуемых образцах преобладают устойчивые к хлорированию и растворению фазы: TiO_2 (рутил), Al_2O_3 (корунд), Fe_2O_3 (гематит), а также Nb_2O_5 и ферониобаты. Такие фазы, особенно в алюмосиликатной и кальциевой матрице, отличаются высокой химической стойкостью.

Для оценки возможности перевода ниобия в раствор были проведены опыты по водному и кислотному выщелачиванию. Водное выщелачивание дало крайне низкие результаты извлечения (менее 3-5 % по ниобию), что обусловлено нерастворимостью Nb_2O_5 и $FeNb_2O_6$ в нейтральной среде. При использовании HCl и H_2SO_4 наблюдалось извлечение ниобия до 18-26 %, тогда как применение HF позволило достигнуть извлечения более 45 % ниобия из возгонов и до 53 % из расплава ПКС (табл. 2, 3 и 4).

На рисунке 6 показана зависимость степени извлечения ниобия от соотношения Т:Ж и температуры. Максимальные значения достигались при Т:Ж = 1:10–1:15 и температуре 85-95°C, в то время как при пониженных температурах (25-40 °C) извлечение оставалось на уровне 20-25%. Увеличение времени реакции более 90 минут не приводило к существенному повышению выхода, что указывает на быстрое наступление равновесия.

Обсуждение научных результатов

Результаты термодинамического анализа, представленные на рисунке 4, подтверждают возможность хлорирования ниобия до летучих соединений ($NbCl_5$, $NbOCl_3$, NbO_2Cl) при температурах 700-820°C и участии восстановителя. При этом соединения ниобия более устойчивы по сравнению с хлоридами титана и железа, что объясняет их остаточное накопление в твёрдых промпродуктах.

Анализ диаграмм Пурбе показал, что в водной среде с добавлением HF формируются устойчивые комплексные фторниобаты, обеспечивающие перевод до 50-55 % ниобия в раствор. Это согласуется с наблюдаемыми экспериментальными данными. В то же время, использование HCl или H_2SO_4 даёт значительно меньшую эффективность, что связано с ограниченной растворимостью оксидов ниобия в кислой среде без фторидов.

Таким образом, наибольшее извлечение ниобия достигается при обработке возгонов и расплава ПКС HF-содержащими растворами при температуре 85-95 °C, что подтверждается как экспериментальными результатами, так и термодинамическими расчётами. Предложенные условия могут быть использованы при проектировании селективной технологии выделения ниобийсодержащих соединений из отходов хлорного титанового производства [4, 6, 11, 13, 14].

Заключение

Проведённые исследования показали, что промышленные отходы хлорного титанового производства, такие как отвальный шлам хлоратора, возгоны пылевой камеры и расплав пылеосадительной камеры, содержат значительное количество ниобия (до 3,2 мас. % Nb), заключённого преимущественно в труднорастворимых оксидных и смешанных фазах.

Установлено, что традиционные методы водного и кислотного выщелачивания (HCl, H_2SO_4) обеспечивают лишь частичное извлечение ниобия (до 18-26%). Наиболее эффективным методом перевода ниобия в раствор является обработка HF-содержащими растворами, при оптимальных условиях (Т:Ж = 1:10-1:15, 85-95°C) обеспечивающим извлечение до 50-53% ниобия.

Результаты термодинамического анализа подтверждают возможность хлорирования ниобия в составе сложных оксидных фаз до летучих хлоридов ($NbCl_5$, $NbOCl_3$ и др.) в присутствии восстановителя, а также образование растворимых фторкомплексов в водных растворах HF. Эти данные служат научным обоснованием для разработки технологии попутного извлечения ниобия из промышленных побочных продуктов титано-магниевого производства.

Таким образом, на основе комплексного экспериментального и расчётного подхода определены эффективные условия выделения ниобийсодержащих соединений, что открывает перспективы для вовлечения ценных редкометаллических компонентов в хозяйственный оборот и снижения экологической нагрузки.

Список литературы

1. Agulyansky A. The Chemistry of Tantalum and Niobium Fluoride Compounds / A. Agulyansky // Amsterdam: Elsevier, 2004. – 350 p. https://doi.org/10.1016/B978-044451631-1/50000-6.
2. Gupta C.K. Extractive Metallurgy of Niobium. Boca Raton / C.K. Gupta, A.K. Suri. – CRC Press, 1994. – 372 p.

3. Handbook of Ferroalloys / M. Gasik (Ed.). – Amsterdam: Elsevier, 2013. – 512 p. https://doi.org/10.1016/C2011-0-05895-9.
4. Thermodynamic Study on Chlorination of Niobium and Tantalum Oxides Using Carbon Tetrachloride / H. Murakami et al // Materials Transactions. – 2014. – vol. 55, № 4. – P. 645-650. https://doi.org/10.2320/matertrans.MC201314.
5. Danilov V.S. Thermodynamic characteristics of niobium chlorides formation during chlorination / V.S. Danilov, I.M. Malygin, R.G. Samatov // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2005. – vol. 78. – P. 292-296. https://doi.org/10.1007/s11167-005-0142-3.
6. Barin I. Thermochemical Data of Pure Substances // 3rd ed. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft. – 1995. – Vol. 1-2.
7. Kuznetsova E.S. Thermodynamic modeling of the niobium behavior during pyrometallurgical and chlorination processes / E.S. Kuznetsova, S.A. Chizhevskaya, G.N. Vorozhtsov // Journal of Mining Institute. – 2021. – vol. 248. – P. 149-157. https://doi.org/10.31897/PMI.2021.2.3.
8. Chlorination of titanium-containing raw materials in molten salts / L.A. Zakharov et al // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2009. – vol. 43, № 1. – P. 62-66. https://doi.org/10.1134/S0040579509010126.
9. Tellez C. Leaching behavior of niobium and tantalum from slag obtained in the chlorination of titanium minerals / C. Tellez, J. Aburto, R. Alonso // Hydrometallurgy. – 2003. – vol. 70, № 1-3. – P. 97-105. https://doi.org/10.1016/S0304-386X(03)00147-4.
10. Ribeiro R.A. Kinetics of sulfuric acid leaching of a Brazilian niobium ore / R.A. Ribeiro, R.M. Silva, V.A. Leão // Minerals Engineering. – 2010. – vol. 23, № 9. – P. 704-710. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.04.006.
11. Takeno N. Atlas of Eh-pH diagrams – Intercomparison of thermodynamic databases / N. Takeno // National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST). – Japan, 2005. – 285 p.
12. Sarsembekov T.K. Raspredelenie niobiya i vanadiya v promproduktakh pri proizvodstve tetrakhlorida titana / T.K. Sarsembekov, T.A. Chepushtanova // Tverdye splavy i metally. – 2022. – № 8. – S. 55-60. https://doi.org/10.17580/tsm.2022.08.07. (In Russian).
13. Concomitant extraction process of niobium at the titanium tetrachloride production / T.K. Sarsembekov et al // Voprosy Atomnoj Nauki i Tekhniki. – 2020. – № 1(125). – P. 173-177.
14. Study of niobium pentoxide behavior under chlorination conditions / Yu.I. Belyaev et al // Tsvetnye Metally. – 2010. – № 6. – P. 52-57. (In Russian).

Информация о финансировании: *Данное исследование профинансировано Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP22686490).*

Т. Сарсембеков[1*], Т. Чепуштанова[1], Е. Меркібаев[1], Т. Янко[2], А. Золотов[3]
[1]Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті,
050013, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Сәтбаев көшесі, 22
[2]UNDERSLAB LTD OOD,
8000, Болгария Республикасы, Бургас қ., Александровска көшесі, 16
[3]Shakarim university,
070411, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка көшесі, 20а
*e-mail: t.sarsembekov@satbayev.university

ТЕТРАХЛОРИД ТИТАН ӨНДІРІСІНІҢ ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛДЫҚТАРЫНАН НИОБИЙДІ БӨЛІП АЛУ

Мақалада титан тетрахлориді өндіру процесінде түзілетін өнеркәсіптік қалдықтарды ниобийді бөліп алу мақсатында өңдеу нәтижелері келтірілген. Зерттеуге үш түрлі ниобий бар өнімдер: титанды хлоратордың шламы, шаң камерасының возгоны және тұзды ваннасы бар шаң ұстау камерасынан алынған балқытылған шлак алынды. SEM-EDS, XRF және XRD әдістері арқылы олардың химиялық және фазалық құрамы зерттелді. Ниобий негізінен қиын еритін оксидтер мен күрделі қосылыстар түрінде анықталды. HSC Chemistry бағдарламалық кешенін қолдана отырып жүргізілген термодинамикалық модельдеу ниобийдің хлоридтерге дейін хлорлану мүмкіндігін және оның жоғары тұрақтылығын растады. Су және дәстүрлі қышқылдармен (HCl, H_2SO_4) жүргізілген сілтісіздендіру кезінде ниобийдің алыну дәрежесі 26 %-дан аспады, ал HF ерітінділерін қолдану кезінде бұл көрсеткіш 53 %-ға дейін жетті. Зерттеу нәтижелері бойынша ниобийді тиімді бөліп алуға мүмкіндік беретін оңтайлы параметрлер анықталды. Ұсынылған тәсіл сирек кездесетін

металдарды өндіріске тартуға және титанды өндіру қалдықтарының қоршаған ортаға әсерін азайтуға ықпал етеді.

Түйін сөздер: *ниобий, титан тетрахлориді, өнеркәсіптік қалдықтар, хлорлау, сілтісіздендіру, экстракция, термодинамикалық талдау, фазалық құрам, фторниобаттар, титанды шикізатты өңдеу.*

T. Sarsembekov[1*], T. Chepushtanova[1], E. Merkibayev[1], T. Yanko[2], A. Zolotov[3]
[1]Satbayev University,
050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, Satpayev St., 22
[2]UNDERSLAB LTD OOD,
8000, Republic of Bulgaria, Burgas, Aleksandrovska St., 16
[3]Shakarim university,
070411, Republic of Kazakhstan, Semey, 20A Glinka St.,
*e-mail: t.sarsembekov@satbayev.university

NIOBIUM RECOVERY FROM TITANIUM TETRACHLORIDE PRODUCTION BY-PRODUCTS

This article presents the results of a study on the processing of industrial by-products from titanium tetrachloride production for the purpose of niobium extraction. Three types of niobium-containing materials were studied: titanium chlorinator sludge, dust chamber sublimate, and molten slag from the dust-settling chamber with a salt bath. The chemical and phase compositions were investigated using SEM-EDS, XRF, and XRD methods. Niobium was found predominantly in the form of refractory oxides and complex phases. Thermodynamic modeling using HSC Chemistry confirmed the stability of niobium oxides and the possibility of chlorination to volatile chlorides in a reducing environment. Leaching experiments showed that traditional water and acid treatments (HCl, H_2SO_4) result in low niobium extraction rates (up to 26%), whereas HF-containing solutions allow for recovery of up to 53%. Based on experimental and modeling data, optimal parameters for selective niobium extraction were established. The proposed approach enables efficient recovery of valuable rare elements and contributes to the reduction of environmental impact from titanium production residues.

Key words: *niobium, titanium tetrachloride, industrial by-products, chlorination, leaching, extraction, thermodynamic analysis, phase composition, fluoroniobates, titanium feedstock processing.*

Сведения об авторах

Турар Кусманович Сарсембеков* – MBA, старший преподаватель; Satbayev University, Алматы, Казахстан; e-mail: t.sarsembekov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9454-6335.

Татьяна Александровна Чепуштанова – PhD, к.т.н., доцент, Satbayev University, Алматы, Казахстан; e-mail: t.chepushtanova@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6526-0044.

Ерик Серикович Меркибаев – PhD, старший преподаватель, Satbayev University, Алматы, Казахстан; e-mail: e.merkibayev@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3869-6835.

Тарас Янко – PhD, главный научный директор UNDERSLAB LTD OOD, Бургас, Болгария; e-mail: titanlab3@ukr.net. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2217-4290.

Александр Дмитриевич Золотов – к.т.н., доцент, асс. профессор; Shakarim university, Семей, Казахстан; e-mail: azol64@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9751-8161.

Авторлар туралы мәліметтер

Турар Құсманұлы Сарсембеков* – MBA, аға оқытушы, Satbayev University, Алматы, Қазақстан; e-mail: t.sarsembekov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9454-6335.

Татьяна Александровна Чепуштанова – PhD, т.ғ.к., доцент, Satbayev University, Алматы, Қазақстан; e-mail: t.chepushtanova@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6526-0044.

Ерик Серікұлы Меркібаев – PhD, аға оқытушы; Satbayev University, Алматы, Қазақстан; e-mail: e.merkibayev@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3869-6835.

Тарас Янко – PhD, UNDERSLAB LTD OOD компаниясының бас ғылыми қызметкері, Бургас, Болгария; e-mail: titanlab3@ukr.net. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2217-4290.

Александр Дмитриевич Золотов – т.ғ. к., доцент, ассистент. Профессор, Shakarim University, Семей. Қазақстан; e-mail: azol64@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9751-8161.

Information about authors

Turar Kusmanovich Sarsembekov* – MBA, senior lecturer, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: t.sarsembekov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9454-6335.

Tatyana Aleksandrovna Chepushtanova – PhD in Engineering, associate professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: t.chepushtanova@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6526-0044.

Erik Serikovich Merkibayev – PhD, senior lecturer, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: e.merkibayev@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3869-6835.
Taras Yanko – PhD, Chief Scientific Officer at UNDERSLAB LTD OOD, Burgas, Bulgaria, e-mail: titanlab3@ukr.net. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2217-4290.
Alexander Zolotov – PhD, Associate Professor, Shakarim University, Semey. Kazakhstan; e-mail: azol64@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9751-8161.

…

Поступила в редакцию 27.07.2025
Поступила после доработки 08.09.2025
Принята к публикации 11.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-68

BY 4.0
Check for updates

ҒТАХР: 61.13.19

А.Т. Табынбаева[1], М.Е.Сулейменова[1], К.Т. Тастамбек[1,2], Н.Ш. Акимбеков[1,2], Ж.Т. Тауанов[1,2*]
[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,
050038, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Аль-Фараби д.71
[2]Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан қ., Қазақстан, пр. Б.Саттарханова, 29
*e-mail: tauanov.zhandos@kaznu.kz

MXENE ЖӘНЕ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗАНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ ӘЛЕУЕТІ

Аңдатпа: *Қазіргі заманда ғылым мен техника қарқынды дамып, қоршаған орта мен табиғи ресурстарды сақтау мәселесі өзекті бола түсуде. Бұл тұрғыда экологиялық таза, жаңартылатын және жоғары тиімділігі бар материалдарға сұраныс артып келеді. MXene және наноцеллюлоза – соңғы онжылдықта үлкен ғылыми қызығушылық тудырған екі перспективті наноматериал. Бұл материалдардың құрылымдық ерекшеліктері, химиялық және физикалық қасиеттері, сондай-ақ көпфункциялы қолдану мүмкіндіктері оларды әртүрлі салаларда тиімді пайдалануға жол ашады.*

MXene – MAX-фазалардың селективті травмалау нәтижесінде алынатын екіөлшемді материал. Оның жоғары өткізгіштігі, гидрофильділігі, термиялық және химиялық тұрақтылығы, сондай-ақ модификацияға икемділігі арқасында ол су тазарту, энергия сақтау, электроника, сенсорлар мен биомедицина салаларында кеңінен зерттеліп келеді. Наноцеллюлоза – өсімдік тектес целлюлозадан алынатын экологиялық таза және биологиялық ыдырайтын материал. Ол жоғары механикалық беріктігі, беттік ауданы және химиялық тұрақтылығы арқылы медицина, тағам өнеркәсібі, орау технологиясы және нанокомпозиттер өндірісінде үлкен әлеуетке ие.

Бұл мақалада екі материалдың алыну әдістері (мысалы, MXene үшін HF немесе LiF/HCl арқылы күйдірмелеу, ал наноцеллюлоза үшін қышқылдық гидролиз, механикалық және ферментативті өңдеу), морфологиялық және құрылымдық сипаттамалары жан-жақты талданады. Сонымен қатар, олардың жеке және біріктірілген түрде қолданылу мүмкіндіктері, әсіресе нанокомпозиттер мен мембраналық құрылымдарда қолдану жолдары қарастырылады. Зерттеу нәтижелері бұл материалдардың өзара үйлесімділігі мен жоғары функционалдығын көрсете отырып, оларды келешектегі экологиялық және техногендік мәселелерді шешуге бағытталған жасыл технологиялардың ажырамас бөлігі ретінде қолдануға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: *MXene, наноцеллюлоза, синтез, нанотехнология, композиттер, экологиялық материалдар, су тазалау.*

1 MXene мембраналық технологияның перспективті материалы ретінде

1.1 MXene құрылымы және қасиеттері

MXene – бұл екі өлшемді материалдар класы, олар қабатталған карбидтерден, нитридтерден немесе карбонитридтерден түзіледі және олардың бастапқы MAX-фазаларынан селективті күйдірмелеу әдісі арқылы алынады.

MXene-нің прекурсорының жалпы химиялық формуласы $M_{n+1}AX_n$ түрінде болады, мұнда M – өтпелі металды, A – Периодтық жүйенің 13–15-топ элементін, ал X – көміртек немесе азотты білдіреді. «MAX» атауы осы үш негізгі құрамдас бөліктің атауларынан алынған.

Графен мен өтпелі металл дихалькогенидтері негізінен ван-дер-ваальстік байланыстар арқылы біріктірілген қабаттардан тұратын болса, MXene құрылымы мүлде басқа ерекшеліктерге ие. Бұл материалда M – A байланысы анағұрлым берік болып табылады, ал M – X байланысы металдық, коваленттік немесе иондық сипат көрсетуі мүмкін. MXene материалдары селективті күйдірмелеу (ойылту) процесі арқылы түзіледі, оның химиялық формуласы $M_{n+1}X_nT_x$ түрінде көрсетіледі. Мұнда T – беткі қабатта орналасқан функционалдық топтарды (F, OH, Cl немесе O) білдіреді, ал x – осы топтардың санын сипаттайды. Жалпы, «n» мәні жоғары MXene құрылымдары термодинамикалық тұрғыдан тұрақты болып келеді. Бұл олардың қабатаралық байланысының беріктігіне, құрылымдық үйлесімділігіне және сыртқы ортаның әсеріне төзімділігіне тікелей байланысты. Сонымен қатар, функционалдық топтардың құрамы мен концентрациясы MXene-нің электрондық, механикалық және химиялық қасиеттерін айтарлықтай өзгерте алады, бұл олардың әртүрлі технологиялық қолдану мүмкіндіктерін арттырады [1]. 1-кестеде MXene материалдарының физикалық және химиялық қасиеттері келтірілген. Бұл қасиеттер олардың мембраналық құрылымдарда қолданылу әлеуетін бағалауға мүмкіндік береді.

Кесте 1 – MXene-нің физика-химиялық қасиеттері

Физика-химиялық қасиет	Ерекшеліктері	Дереккөз
Құрылым	Қабыршақты, 2D – наноқабаттар, жоғары меншікті беткі ауданға ие	[2]
Беттік топтар	Синтездеу әдісіне байланысты – OH, –O, –F топтарымен функционалданады	[3]
Жоғары механикалық беріктік	$Ti_3C_2T_x$ моноқабаты үшін Юнг модулі 0,484 ± 0,013 ТПа құрайды, бұл теориялық мәнге (0,502 ТПа) өте жақын.	[4]
Электрөткізгіштік	$Ti_3C_2T_x$ моноқабатының электр-өткізгіштігі 11 000 $S \cdot cm^{-1}$ дейін жетеді, бұл оны жоғары ток өткізгіштікке ие материал ретінде көрсетеді	[5]
Гидрофильділік	Терминальды топтардың болуына байланысты жоғары гидрофильдік қасиет көрсетеді	[6]
Беттік заряд	Теріс беттік заряд (ортаның pH-на және терминальды топтарға байланысты)	[7]
Тұрақтылық	Тотығуға бейім (әсіресе сулы суспензияларда ұзақ уақыт сақтағанда)	[8]

Қазіргі уақытта әртүрлі электронды, физикалық және электро-химиялық қасиеттері бар 30-дан астам эксперименталды түрде алынған стехиометриялық MXene және 100-ден астам (беткі ұштарын есептемегенде) теориялық болжамды қосылыстар бар. Сонымен қатар, M және X жақтарында қатты ерітінділер болуы мүмкін және бірнеше дара (O, Cl, F, S және т.б.) болуы мүмкін.) немесе аралас (O/OH/F) беттік ұштары MXene-ді 2D материалдарының үлкен және әртүрлі тобына айналдырады [3].

1.2 Mxene синтездеу әдістері

MXene көп жағдайда жоғарыдан төмен әдіспен алынады. Бұл бөлім дәстүрлі түрде «MXene синтез әдістері» деп белгіленгенімен, бұл классикалық синтез туралы емес, бастапқы MAX фазасының трансформация процестері туралы. Қарапайым прекурсорлардан материал жасауды көздейтін толыққанды синтезден айырмашылығы, MXene жағдайында біз MAX фазасының құрылымдық элементтерінің бірін селективті алып тастаумен айналысамыз

MXene синтездеу үшін негізінен MAX-фазаларынан HF немесе LiF/HCl ерітінділерінде күйдірмелеу әдісі қолданылады. Бұл әдіс металдық қабаттарды аралықтан алып тастау арқылы MXene түзуге мүмкіндік береді [1].

Негізгі синтездеу әдістері:

Химиялық күйдірмелеу – HF немесе HCl/LiF қолдану. MXene алу үшін кеңінен қолданылатын тәсілдердің бірі – химиялық күйдірмелеу. Бұл әдісте MAX – фазадағы A – элемент (мысалы, алюминий) арнайы реагенттердің көмегімен таңдамалы түрде жойылады. Бастапқыда бұл үшін фторсутек (HF) қышқылы пайдаланылған. Алайда оның уыттылығы мен қауіптілігіне байланысты кейінгі зерттеулер экологиялық қауіпсіз әрі тиімді балама әдістерге

бағытталды. Солардың бірі - Льюис қышқылдарына негізделген күйдірмелеу, яғни $ZnCl_2$, $CuCl_2$ немесе $FeCl_3$ секілді металдардың тұздары арқылы MAX-фазаны өңдеу. Бұл реагенттер алюминиймен әрекеттесіп, оны ерітіндіге шығарып тастайды, нәтижесінде M_n+1X_n құрылымы қалыптасып, MXene түзіледі [9].

Электрохимиялық күйдірмелеу – жұмсақ жағдайларда MXene алу әдісі. Дәстүрлі HF негізіндегі әдістер қауіпті және экологиялық тұрғыдан тиімсіз болғандықтан, зерттеушілер балама, қауіпсіз және тиімді жолдарын іздестіруде. Liu және әріптестері ұсынылған жұмыстарында Ti_2C түріндегі MXene материалын алу үшін балқытылған тұзды ортада (LiCl/KCl) бір сатылы электрохимиялық күйдірмелеу әдісін қолдануды ұсынды.

Бұл әдісте бастапқы MAX фазасы (Ti_2AlC) Ti, Al және көміртегі (КНТ немесе rGO) элементтерінен дайындалып, кейіннен 500 °C температурада 1.3 В тұрақты кернеу кезінде электрохимиялық түрде күйдірмелеу жүргізілді. Осы процесте алюминий атомдары Al^{3+} иондарына дейін тотығып, тұз ортасында ұшпа $AlCl_3$ қосылысын түзіп, Ti_2C негізіндегі MXene бетінде Cl топтарының пайда болуына мүмкіндік жасайды. Бұл фторсыз және металл қоспаларсыз әдіс ретінде экологиялық және құрылымдық тұрғыдан тиімді жол екендігі көрсетілді. Қосымша өңдеу ретінде $(NH_4)_2S_2O_8$ ерітіндісімен өңдеу жүргізіліп, беткі қабатта оттегі бар топтардың (O-containing terminations) түзілуіне қол жеткізілді. Бұл оттекті топтар электрохимиялық қасиеттерді едәуір жақсартып, псевдокапацитивті реакцияны белсендіріп, жоғары қуатты литий-ионды аккумуляторлар үшін перспективті анод материалы ретінде қолдануға мүмкіндік береді [10].

Механохимиялық әдіс – механикалық ұнтақтау арқылы синтез. Бұл әдіс қатты фазадағы материалдарда механикалық күштің әсерінен химиялық реакцияларды іске қосады. Механохимиялық өңдеу кезінде, әдетте, MAX-фазалар немесе олардың прекурсорлары жоғары энергиялы шарлы диірмендерде тиісті реактивтермен бірге өңделеді. Бұл процесс нәтижесінде A элементінің қабаттар арасынан бөлініп, MXene құрылымы түзіледі.

Механохимиялық әдістің негізгі артықшылықтарына оның қарапайымдылығы, еріткішсіз немесе аз мөлшерде еріткішпен жүргізілуі, энергия мен уақытты үнемдеу, экологиялық қауіпсіздігі жатады. Сонымен қатар, бұл әдіс арқылы алынған MXene-нің беткі функционалды топтарын (–OH, –F, –O) тиімді басқаруға және қабатаралық арақашықтықты арттыруға болады, бұл өз кезегінде электродтық және адсорбциялық қасиеттерін жақсартады. Мысалы, $Ti_3C_2T_x$ MXene үлгісі механикалық өңдеуден кейін химиялық әдісімен синтезделіп, суперконденсатор ретінде жоғары меншікті сыйымдылық көрсетті – 146.3 Ф/г, сондай-ақ 5000 циклдан кейін де тұрақтылығын сақтап қалды. Сонымен қатар, жаңа бірсатылы механикалық эксфолиация әдісі арқылы жоғары тұрақты және органикалық еріткіштерде жақсы дисперсияланатын MXene материалдары алынған [11].

Сондай-ақ, MXene-ді төменнен жоғары әдістермен алуға болады. Di Wang, Chenkun Zhou және басқалар жүргізген зерттеуде бу фазасынан химиялық тұндыру әдісімен MXene алу әдістемесі ұсынылды. Дәстүрлі MAX фазалық селективті күйдірмелеу әдісінен айырмашылығы, бұл әдіс MXene-ді көміртегі, метан немесе азоттың қатысуымен металдар мен металл галогенидтері сияқты бастапқы компоненттерден тікелей синтездеуге мүмкіндік береді. Бұл материалдың морфологиясы мен құрылымын бақылаудың жаңа мүмкіндіктерін ашады, бұл осы тәсілді берілген қасиеттері бар MXene құруға перспективалы етеді [12].

2011 жылы MXene отбасының бірінші мүшесі, $Ti_3C_2T_x$, оның алдындағы Ti_3AlC_2-ден Al қабатын химиялық жолмен алу үшін концентрлі HF ерітіндісінің әсерінен кейін синтезделді. M-A байланыс энергиясы M-X байланыс энергиясынан төмен болғандықтан, дәйекті ою реакциялары біртіндеп жүруі мүмкін [13]. Мысал ретінде Ti_3Al_2 алайық:

$$Ti_3AlC_2 + 3HF \rightarrow Ti_3AlC_2 + AlF_3 + 1.5H_2 \quad (1)$$

$$Ti_3C_2 + 2H_2O \rightarrow Ti_3C_3(OH)_2 + H \quad (2)$$

$$Ti_3C_2 + 2HF \rightarrow Ti_3C_2F_2 + H_2 \quad (3)$$

1-суреттегі сызбанұсқада MAX-фаза синтезінің кезеңдері көрсетілген. Алдымен M (ауысатын металл), A (мысалы, Al, Si) және X (C немесе N) элементтері стехиометриялық қатынаста араластырылып, жоғары температурада инертті атмосферада күйдіріледі. Нәтижесінде қабаттық кристалды құрылым түзіледі: M және X қабаттары кезектесіп орналасып, A-қабаттары араларында болады. Осыдан кейін MAX-фаза қышқыл (HF) немесе

LiF/HCl ерітіндісімен өңделіп, А-қабаттар ерітіндіге өтеді. Қалған көпқабатты құрылым – MXene – түзіледі. Қосымша ультрадыбыстық немесе механикалық өңдеу арқылы бұл құрылым жұқа екіөлшемді MXene нанопластинкаларына бөлінеді.

Сурет 1 – MXene алу сызбанұсқасы

2 Наноцеллюлозаның классификациясы, қасиеттері және түзілу механизмдері

2.1 Наноцеллюлоза түрлері

Целлюлоза микромасштабтан наномасштабға дейін өзгеретін иерархиялық құрылымға ие. Оны 2 суреттегі сызбанұсқадан анық байқауға болады.

Целлюлоза қалпына келу, қол жетімділік, адам үшін қауіпсіздігі, тірі организмдермен үйлесімділік және ылғалды сіңіру қабілеті сияқты құнды қасиеттерге ие. Осы қасиеттерінің арқасында ол әртүрлі салаларда, соның ішінде қағаз, косметика, тамақ, орау, тоқыма және дәрі-дәрмек өндірісінде кеңінен қолданылады. Целлюлозаның ерекше табиғи сипаттамалары оның негізінде наноматериалдар жасауға мүмкіндіктер ашты.

Целлюлоза β-D-глюкопиранозадан тұратын негізгі қайталанатын бірліктерден – β-1,4-глюкозидті байланыстар арқылы құралады. Целлюлозаның полимерлену дәрежесі бірнеше жүзден бірнеше мыңға дейін өзгеріп отырады. Наноцеллюлоза – бұл целлюлозаның бір өлшемі (ұзындығы, диаметрі немесе биіктігі) наноөлшемде болатын материал, бұл қасиет оның көзіне немесе өндіріс әдісіне байланысты емес [14].

β-d-глюкопираноза (целлобиоздық) бірліктері – глюкозаның димері, ол глюкоза бірліктерінің C_4 және C_1 көміртек атомдарындағы ОН топтары арасында гликозидті байланыстар арқылы ковалентті байланысқан. Целлюлоза полисахаридінің тізбегі C_1 атомында бос полуацетальды немесе альдегидті топпен қалпына келетін ұшымен және C_4 атомында бос спиртті топпен қалпына келмейтін ұшымен құралады [15].

Наноцеллюлозаның жоғары беткі ауданы, экологиялық тазалығы, биосыйымдылығы және жақсы механикалық қасиеттері оны қазіргі замандағы көптеген жаңа материалдар мен технологияларда қолдануға мүмкіндік береді, атап айтқанда су тазалау және микробты фильтрация жүйелерінде [16].

Наноцеллюлоза жалпы үш негізгі түрге бөлінеді:

Бактериалды наноцеллюлоза (БНЦ). Бактериалды наноцеллюлоза туралы алғаш рет 1886 жылы Адриан Браун айтқан. Ол қазіргі кезде *Gluconacetobacter xylinus* деп аталатын бактерияларды зерттеп, олардың наноцеллюлоза өндіре алатынын анықтады. Жоғарыдан төмен әдістері арқылы алынған наноцеллюлозамен салыстырғанда, бактериялық наноцеллюлоза құрамында лигнин мен гемицеллюлоза болмайтындықтан, тазалығы жоғары [17].

Бактериалды наноцеллюлоза (БНЦ) – бактериялар шығаратын микробтық целлюлоза, Мысалы, *Acetobacter xylinum*. Бактериялық целлюлоза өсімдік целлюлозасынан ерекшеленеді, өйткені ол жеке молекула түрінде болады және пектин, лигнин және гемицеллюлоза сияқты қоспаларды кетіру үшін одан әрі өңдеу қажет емес. Оның өсімдік целлюлозасына қарағанда көптеген артықшылықтары бар, өйткені ол өте таза, сұйықтық пен газдарға тамаша өткізгіштігі, кеуектілігі, суды жоғары сіңіруі және тамаша механикалық қасиеттері бар [18].

Кристалды наноцеллюлоза (КНЦ). Бұл ұзындығы 200-500 нм және диаметрі 3-35 нм аралығында болатын, таяқша тәрізді нанобөлшектер. Олар целлюлозаның жоғары реттелген

кристалдық аймақтарынан қышқыл гидролиз әдісі арқылы алынады. Бұл процесте аморфты целлюлозаға әсер ету үшін концентрлі күкірт қышқылы қолданылады. Нәтижесінде, 90%-ға дейінгі тазалығы және мінсіз кристалдылығы бар өзек тәрізді құрылым түзіледі. ЦНК жоғары кристалдылық деңгейімен, қаттылығымен, үлкен меншікті беткі ауданымен және жоғары механикалық беріктігімен ерекшеленеді. Осы қасиеттерінің арқасында олар адсорбциялық қабілеті жоғары биосорбент ретінде кеңінен қолданыс табуда [19, 20].

КНЦ құрамындағы гидроксил топтарының көп болуы оның бетін әртүрлі функционалды топтармен модификациялауға жағдай жасайды, бұл оны бояғыштар мен ауыр металдарды (мысалы, Cr^{3+}) адсорбциялауда тиімді етеді. Сонымен қатар, КНЦ басқа наноматериалдармен (мысалы, графен оксиді, МОК, Fe_3O_4) біріктіріліп, композитті құрылымдар жасау үшін кеңінен қолданылады. Мұндай материалдар суды тазарту саласында жоғары тиімділік [20].

Фибриллярлы наноцеллюлоза (ФНЦ). Фибриллярлы наноцеллюлоза – диаметрі 5-тен 50 нм-ге дейін және ұзындығы бірнеше микрометр болатын сызықты фибриллдерден тұратын целлюлоза наноматериалдары. ФНЦ бір талшықтағы аморфты және кристалды аймақтарды қамтиды және механикалық өңдеу, химиялық өңдеу және механикалық және химиялық өңдеу комбинациясы сияқты үш түрлі процесті қолдану арқылы целлюлоза талшықтарынан алынуы мүмкін. Механикалық өңдеу Кезінде ФНЦ целлюлоза целлюлозасының суспензиясын жоғары қысыммен ұнтақтау арқылы синтезделеді, сондықтан нанофибрилдердің күшті шатастырылған желілері түзіледі [18].

2.2 Наноцеллюлозаны алу әдістері

Химиялық әдістер

Химиялық әдістер наноцеллюлозаны алу үшін жиі қолданылады және олардың арасында қышқыл гидролизі, тотықтырғыштық өңдеу (TEMPO тотығу) және сілтілік өңдеу ерекше орын алады.

TEMPO арқылы тотығу. Барлық химиялық алдын ала өңдеулердің ішінде TEMPO арқылы тотығу әлі де ең тиімді және селективті химиялық алдын ала өңдеулердің бірі болып саналады. Бұл алдын ала өңдеу әдісі катализатор ретінде 2,2,6,6-тетраметил-1-пиперидинилоксиді (TEMPO), сокатализатор ретінде натрий бромиді (NaBr) және тотықтырғыш ретінде натрий гипохлориті (NaClO) қолданылады. Процесс целлюлозаның C_6 гидроксил топтарының тотығуына негізделген, алдымен альдегидке дейін, содан кейін карбоксил топтарына дейін, pH 10-11 және бөлме температурасында.

TEMPO көмегімен карбоксил топтарын енгізу фибриллалар арасындағы электростатикалық итеруді күшейтеді, бұл олардың одан әрі механикалық босатылуын айтарлықтай жеңілдетеді. Дегенмен, жоғары шығындар мен қоршаған ортаға ықтимал теріс әсер бұл әдісті өнеркәсіптік ауқымда қолдану мүмкіндігін шектейді [21]. TEMPO әдісінің артықшылығы – алынған наноцеллюлозаның жоғары тұрақтылығы мен біркелкілігі. Бұл әдісті жетілдіру үшін экологиялық таза тотықтырғыш жүйелер зерттелуде [22].

Қышқылдық гидролиз. Қышқыл гидролизі кеңінен қолданылатын әдістердің бірі болып табылады. Бұл процесте күкірт немесе тұз қышқылы қолданылады, нәтижесінде жоғары кристалдылыққа ие наноцеллюлоза түзіледі. Бұл әдістің басты артықшылығы – алынған наноцеллюлозаның механикалық беріктігі және тұрақтылығы. Гидролиз процесі аморфты целлюлозаны ыдыратып, кристалды құрылымды сақтап қалуға мүмкіндік береді. Дегенмен, бұл әдіс бейтараптандыру мен жуу сатыларын қажет ететіндіктен, өнеркәсіптік деңгейде күрделілік тудырады [23].

Сілтілік гидролиз. Сілтілік өңдеу – бұл өсімдік биомассасынан целлюлозалық наноталшықтарды алудың тиімді тәсілдерінің бірі. Asem тобының зерттеуінде бұл әдіс қант қамысының багассасынан целлюлоза құрылымын бөліп алу үшін пайдаланылды. Сілтілік ортада жүргізілген өңдеу лигнин мен гемицеллюлоза сияқты қоспаларды тиімді түрде жояды, бұл өз кезегінде талшықтардың босап шығуына және кейінгі механикалық немесе қышқылдық өңдеуге жақсы бейімделуіне мүмкіндік береді. Бұл кезең материалдың беттік морфологиясын жақсартып, гидрофильді қасиеттерін арттырады[24].

Механикалық әдістер

Механикалық әдіс негізінен жоғары қысымды гомогенизацияны, механикалық-химиялық ұнтақтауды, ультрадыбыстық өңдеуді қамтиды.

Механикалық әдістердің өзіндік құны бар болса да, олар күрделі жағдайларды қажет етпейді және ластану проблемаларын тудырмайды, бұл оларды индустрияландыруды жеңілдетеді [25].

Жоғары қысымда гомогенизация. Жоғары қысымды гомогенизация әдісі целлюлоза талшықтарын жоғары қысымда механикалық дисперсиялау арқылы ұсақтайды. Бұл әдістің тиімділігі қысым деңгейіне және өңдеу циклдарының санына тәуелді. Гомогенизация кезінде алынған наноцеллюлоза тұрақты және біртекті бөлшектерден тұрады [26].

Әдістің артықшылығы – химиялық реагенттерді қажет етпеуі және экологиялық қауіпсіздігі. Алайда, жоғары энергия шығыны мен жабдықтың тозуы оның ауқымды өндірісте қолданылуын шектейді. Гомогенизация әдісін жетілдіру үшін ультрадыбыстық өңдеу сияқты басқа тәсілдермен біріктіру ұсынылады [27].

Ультрадыбыстық өңдеу. Ультрадыбыстық өңдеу – экологиялық тұрғыдан тиімді әдістердің бірі, өйткені ол аз энергия жұмсайды және химиялық реагенттерді қажет етпейді. Бұл әдісте жоғары жиілікті дыбыс толқындарының әсерінен целлюлоза талшықтары ұсақ бөлшектерге ыдырайды. Нәтижесінде, алынған наноцеллюлоза бөлшектері біркелкі болып, жақсы дисперсиялық тұрақтылыққа ие болады [28].

Алайда, өңдеу параметрлері дұрыс таңдалмаса, алынған бөлшектердің қасиеттері өзгеруі мүмкін, сондықтан бұл әдісті басқа тәсілдермен біріктіріп қолдану ұсынылады. Ультрадыбыстық өңдеу жоғары қысымды гомогенизациямен біріктірілгенде, алынған наноцеллюлозаның қасиеттері айтарлықтай жақсарады [26].

Биологиялық әдістер

Наноцеллюлозаны алу үшін қолданылатын биологиялық әдістер микроорганизмдер мен ферменттерді пайдалану негізінде жүзеге асырылады. Олар өздерінің тиімділігі мен соңғы өнімнің қасиеттерін бақылауға мүмкіндік беруі арқасында кеңінен қолданылуда.

Ферментативті әдіс. Ферментативті әдіс целлюлазалық ферменттердің әсерінен целлюлозаны таңдамалы гидролиздеу арқылы наноцеллюлоза алуға негізделген. Бұл әдіс механикалық және химиялық өңдеулерге қарағанда жұмсақ, себебі целлюлоза құрылымын сақтай отырып, оның нанодеңгейдегі дисперсиясын қамтамасыз етеді. Wang өз зерттеуінде ферментативті әдіспен алынған наноцеллюлозаның құрылымдық және механикалық қасиеттерін зерттеп, ферменттердің комбинациясы мен олардың әсер ету шарттарының өнім сапасына ықпалын анықтаған. Нәтижелер көрсеткендей, ферментативті гидролиз өнімнің жоғары дәрежелі дисперсиясын қамтамасыз етіп, оның термиялық тұрақтылығын арттырады [29].

Ферментативті әдісті одан әрі жетілдіру мақсатында биоинженерлік тәсілдерді қолдану арқылы ферменттердің тиімділігін арттыру жолдарын қарастырылып жатыр. Сонымен қатар, ультрадыбыстық және механикалық әдістермен біріктірілген ферментативті өңдеу тәсілдерінің өнімділікті арттыратыны белгілі болды [30]. Ферменттерді тиімді қолдану үшін ферменттік коктейльдердің әртүрлі құрамдарын зерттеп, олардың целлюлоза талшықтарын деградациялау қабілетін салыстырылады. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ферменттік коктейльдердің оңтайлы құрамын таңдау наноцеллюлозаның сапасына тікелей әсер етеді, ал ферментативті әдіспен алынған наноталшықтар жоғары механикалық және термиялық тұрақтылыққа ие болады [31].

Бактериалды әдіс. Бұл әдісте белгілі бір бактериялар түрлері целлюлоза талшықтарын синтездейді, нәтижесінде жоғары тазалықтағы және құрылымдық біртектілігі жоғары наноцеллюлоза түзіледі. БНЦ бактериялардың белгілі бір түрлерін, соның ішінде *Acetobacter* (*Komagataeibacter* ретінде қайта жіктелген), *Rhizobium, Agrobacterium, Pseudomonas*, *Salmonella , Alcaligenes* сияқты грам оң түрлерді , сондай-ақ *sarcina ventriculi* сияқты түрлерді ашыту арқылы өндіріледі. Бактериялық целлюлозаның ең тиімді өндірісі *Acetobacter*-ден келеді, мысалы, *A.xylinum, A.hansenii, A.pasteurianus* және *Komagataeibacter europaeus* [17].

El-Naggar және оның әріптестері жүргізген зерттеулер бактериялық целлюлозаның синтезін оңтайландыруға бағытталған. Олар бактериялық дақылдардың өсуіне қолайлы қоректік орта құрамы мен ферментация шарттарын зерттей отырып, өнім шығымын арттыруға болатындығын көрсеткен. Сонымен қатар, алынған бактериялық наноцеллюлозаның физикалық-химиялық қасиеттері толық сипатталған [32].

Бактериялық целлюлозаның сапасын жақсарту үшін гендік инженерия мен биокатализ әдістерін қолдану арқылы бактериялардың өнімділігін арттыру жолдары қарастырылып жатыр. Сонымен қатар, бактериялық наноцеллюлозаның жараларды емдеу, тін инженериясы және биосенсорлар сияқты биомедициналық қолдану салаларындағы әлеуеті жоғары [33]. 2-

кестеде наноцеллюлозаны алу әдістерінің салыстырмалы сипаттамасы келтірілген. Онда әр әдістің артықшылықтары мен кемшіліктері көрсетіліп, қолдану саласына байланысты тиімділігі бағаланады

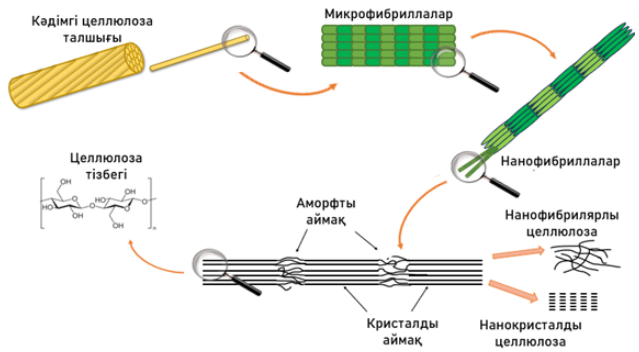
Кесте 2 – Наноцеллюлозаны алу әдістеріне салыстырмалы талдау

Әдіс	Алынатын НЦ түрі	Артықшылықтары	Кемшіліктері	Мақала
Сілтілік гидролиз	ФНЦ	Материалдың механикалық қасиеттері жақсарады	Экологиялық таза емес, құрылым бұзылуы мүмкін	[34]
Қышқылдық гидролиз	КНЦ	Жоғары кристалды, тұрақты материал алынады	Агрессивті қышқылдарды қолдану	[35]
Бактериалды синтез	БНЦ	Экологиялық таза, қоспасыз таза материал	Ұзақ уақыт (7-14 күн)	[17]
Ферментативті гидролиз	КНЦ, ФНЦ	Экологиялық таза, жұмсақ синтез, материал сапасы	Арнайы фермент-терді қажет етеді, ұзақ уақыт	[36]
Механикалық ұнтақтау	ФНЦ	Қарапайым, химиялық реагенттер қолданылмайды	Құрылғылар бағасы, энергия шығындары	[25]
Ультрадыбыстық өңдеу	ФНЦ	Экологиялық таза, жоғары дәрежеде диспергілеу	Құрылғылар бағасы, талшық бұзылуы мүмкін	[37]
Гомогенизация	ФНЦ	Біртекті талшықтар алынады	Алдын ала өңдеуді қажет етеді, энергия шығындары	[38]
TEMPO	ФНЦ	Бақыланатын әдіс, жоғары дисперстілік	Жоғары бағалы реагенттерді қолдану	[39]

Наноцеллюлозаны бөліп алу процесінің тиімділігін арттыру мақсатында бұл әдістер көбіне бір-бірімен үйлестіріле қолданылады. Мысалы, химиялық өңдеуге дейін шикізат алдын ала механикалық тәсілмен дайындалады, бұл кейінгі реакцияның жылдамдығын және өнім шығымын арттыруға ықпал етеді.

2.3 Наноцеллюлозаның түзілу механизмдері

Тізбектер арасындағы сутектік байланыстар целлюлозаны берік және тұрақты полимерге айналдырады, ал наноцеллюлоза ось бойымен жоғары қаттылық береді. Бұл байланыстар сонымен қатар целлюлоза құрылымын қалыптастыруда маңызды рөл атқарады, оның өзін-өзі құрастыру қабілетін, кристалдылық дәрежесін, қол жетімділігі мен химиялық белсенділігін анықтайды. Егер сутектік байланыстар көп болса, молекулалар тығыз қосылып, кристалды аймақтар түзе бастайды, ал қалғандары аморфты болып қалады. Нәтижесінде целлюлоза микрофибриллалары реттелген (кристалды) және реттелмеген (аморфты) аймақтардан тұрады және олардың қатынасы өсімдік шикізатының көзіне байланысты. Мысалы, мақта целлюлозасының кристалдылығы ағаш целлюлозасымен салыстырғанда 80%-ға жетуі мүмкін [40]. Целлюлозаның наноөлшемді құрылымдарға айналу процесі бірнеше кезеңнен тұрады (сурет 2).



Сурет 2 – Наноцеллюлозаның түзілу механизмі

Бастапқыда целлюлоза ірі макроскопиялық талшық түрінде көрінеді, оның құрамында микрофибриллалар болады. Арнайы өңдеу нәтижесінде бұл құрылымдар біртіндеп ұсақталып, алдымен микрофибриллаларға, кейін наноөлшемді фибриллаларға айналады.

Целлюлоза молекуласы глюкозалық бірліктерден тұратын ұзын тізбекті құрайды. Бұл тізбекте кристалды (реттелген, берік) және аморфты (ретсіз, реакцияға бейім) аймақтар болады. Осы құрылымға негізделе отырып, екі негізгі түрдегі наноцеллюлоза алуға болады: фибриллярлы (кристалды және аморфты аймақтарды қамтитын) және кристалды (тек кристалды бөліктерден тұратын). Целлюлозаның осындай құрылымдық ерекшеліктері оны түрлі наноматериалдар мен технологиялар үшін құнды шикізат етеді.

Қорытынды

MXene және наноцеллюлоза сияқты наноқұрылымды материалдар қазіргі мембраналық технологияларды жетілдіруде маңызды рөл атқарады. Бұл материалдар жоғары гидрофильділікке, механикалық беріктікке, үлкен меншікті беткі ауданға және модификацияға бейімділікке ие. Олар суды тиімді тазартуға арналған мембраналар үшін аса қолайлы.

MXene екі өлшемді құрылымы мен электрөткізгіштік қасиетінің арқасында ауыр металдарды адсорбциялау мен иондық селективтілікке қабілетті. Наноцеллюлоза болса, жаңартылатын табиғи көздерден алынатын экологиялық таза және биологиялық ыдырайтын материал ретінде мембраналардың құрылымдық тұрақтылығын арттырады. Бұл екі материалдың комбинациясы жоғары өнімді композитті мембраналар алуға мүмкіндік береді.

Мақалада аталған материалдарды синтездеу және оларды мембраналық жүйелерге бейімдеу әдістері қарастырылды. Жинақталған мәліметтер наноцеллюлоза мен MXene негізіндегі мембраналардың суды тазарту, тұщыту және ластағыштарды бөлу процестерінде қолданылу әлеуетін дәлелдейді. Бұл бағыттағы зерттеулер қоршаған ортаға қауіпсіз, тиімді су тазарту технологияларын дамытуға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Akhter R. MXenes: A comprehensive review of synthesis, properties, and progress in supercapacitor applications / R. Akhter, S.S. Maktedar // Journal of Materiomics. – 2023. – vol. 9, № 6. – P. 1196-1241. https://doi.org/10.1016/J.JMAT.2023.08.011.
2. Facile Fabrication of Densely Packed Ti3C2MXene/Nanocellulose Composite Films for Enhancing Electromagnetic Interference Shielding and Electro-/Photothermal Performance / Z. Zhou et al // ACS Nano. – 2021. – vol. 15, № 7. – P. 12405-12417. https://doi.org/10.1021/acsnano.1c04526.
3. Gogotsi Y. MXenes: Two-Dimensional Building Blocks for Future Materials and Devices / Y. Gogotsi, Q. Huang // ACS Nano. – 2021. – vol. 15, № 4. – P. 5775-5780. https://doi.org/10.1021/acsnano.1c03161.
4. Elastic properties and tensile strength of 2D Ti3C2Tx MXene monolayers / C. Rong et al. // Nat Commun. – 2024. – vol. 15, № 1. – P. 1566. https://doi.org/10.1038/s41467-024-45657-6.
5. High electrical conductivity and breakdown current density of individual monolayer Ti3C2T MXene flakes / A. Lipatov et al. // Matter. – 2021. – vol. 4, № 4. – P. 1413-1427. https://doi.org/10.1016/j.matt.2021.01.021.
6. Transforming Ti3C2Tx MXene's intrinsic hydrophilicity into superhydrophobicity for efficient photothermal membrane desalination / B. Zhang et al. // Nat Commun. – 2022. – vol. 13, № 1. – P. 3315. https://doi.org/10.1038/s41467-022-31028-6.
7. Role of Surface Terminations for Charge Storage of Ti 3 C 2 T x MXene Electrodes in Aqueous Acidic Electrolyte / L. Liu et al // Angewandte Chemie International Edition. – 2024. – vol. 63, № 14. https://doi.org/10.1002/anie.202319238.
8. Understanding the Chemical Degradation of Ti 3 C 2 T x MXene Dispersions: A Chronological Analysis / K.P. Marquez et al. // Small Science. – 2024. https://doi.org/10.1002/smsc.202400150.
9. Harja M. Recent advances in removal of Congo Red dye by adsorption using an industrial waste / M. Harja, G. Buema, D. Bucur // Sci Rep. – vol. 12, № 1. – P. 1-18. https://doi.org/ 10.1038/s41598-022- 10093-3.

10. In Situ Synthesis of MXene with Tunable Morphology by Electrochemical Etching of MAX Phase Prepared in Molten Salt / L. Liu et al // Adv Energy Mater. – 2023. – vol. 13, № 7. https://doi.org/10.1002/aenm.202203805.
11. Advancements in MXenes and mechanochemistry: exploring new horizons and future applications / S. Iravani et al // Mater Adv. – 2024. – vol. 5, № 21. – P. 8404-8418. https://doi.org/10.1039/D4MA00775A.
12. Direct synthesis and chemical vapor deposition of 2D carbide and nitride Mxenes / D. Wang et al. // Science. – 2023. – vol. 379, № 6638. – P. 1242-1247. https://doi.org/ 10.1126/science.add9204.
13. Huang L. MXene-Based Membranes for Separation Applications / L. Huang, L. Ding, H. Wang // Small Science. – 2021. – vol. 1, № 7. https://doi.org/10.1002/smsc.202100013.
14. Cellulose nanofibrils manufactured by various methods with application as paper strength additives / J. Zeng et al // Sci Rep. – 2021. – vol. 11, № 1. – P. 1-16. https://doi.org/10.1038/s41598-021-91420-y.
15. A review of nanocellulose as a new material towards environmental sustainability / K. Dhali et al // Science of The Total Environment. – 2021. – vol. 775. – P. 145871. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.145871.
16. Emerging developments regarding nanocellulose-based membrane filtration material against microbes / M.N.F. Norrrahim et al // Polymers (Basel). – 2021. – vol. 13, № 19. https://doi.org/10.3390/polym13193249.
17. Barja F. Bacterial nanocellulose production and biomedical applications / F. Barja // J Biomed Res. – 2021. – vol. 35, № 4. – P. 310-317. https://doi.org/10.7555/JBR.35.20210036.
18. Production of nanocellulose from lignocellulosic biomass and its potential applications: A review / M. N. Khan et al // Global Nest Journal. – 2024. – vol. 26, № 4. https://doi.org/10.30955/gnj.005604.
19. Production of nanocellulose from lignocellulosic biomass and its potential applications: A review / M.N. Khan et al // Global Nest Journal. – 2024. – vol. 26, № 4. https://doi.org/10.30955/gnj.005604.
20. A comprehensive review of cellulose nanomaterials for adsorption of wastewater pollutants: focus on dye and heavy metal Cr adsorption and oil/water separation / Y. Yang et al // Collagen and Leather. – 2024. – vol. 6, № 1. – P. 1-25. https://doi.org/10.1186/s42825-024-00179-1.
21. Recycling of TEMPO-mediated oxidation medium and its effect on nanocellulose properties / H. Xu et al // Carbohydr Polym. – 2023. – vol. 319. – P. 121168. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2023.121168.
22. Preparation and characterization of nanocellulose obtained by TEMPO-mediated oxidation of organosolv pulp from reed stalks / V.A. Barbash et al // Appl Nanosci. – 2022. – vol. 12, № 4. – P. 835-848. https://doi.org/10.1007/s13204-021- 01749-z.
23. Nanocrystalline cellulose isolation via acid hydrolysis from non-woody biomass: Importance of hydrolysis parameters / A.Q. Almashhadani et al // Carbohydr Polym. – 2022. – vol. 286. – P. 119285. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2022.119285.
24. Entangled cellulose nanofibers produced from sugarcane bagasse via alkaline treatment, mild acid hydrolysis assisted with ultrasonication / M. Asem et al // Journal of King Saud University – Engineering Sciences. – 2023. – vol. 35, № 1. – P. 24-31. https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.03.003.
25. Cellulose nanofibrils (CNFs) produced by different mechanical methods to improve mechanical properties of recycled paper / F. Hu et al // Carbohydr Polym. – 2021. – vol. 254. – P. 117474. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.117474.
26. Preparation of cellulose nanofibers from potato residues by ultrasonication combined with high-pressure homogenization / X. Liu et al // Food Chem. – 2023. – vol. 413. – P. 135675. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2023.135675.
27. Samsalee N. Rice husk nanocellulose: Extraction by high-pressure homogenization, chemical treatments and characterization / N. Samsalee, J. Meerasri, R. Sothornvit // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. – 2023. – vol. 6. – P. 100353. https://doi.org/10.1016/J.CARPTA.2023.100353.

28. Ultrasonic cavitation: An effective cleaner and greener intensification technology in the extraction and surface modification of nanocellulose / D.Y. Hoo et al // Ultrason Sonochem. – 2022. – vol. 90. – P. 106176. https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2022.106176.
29. Preparation and characterization of nanocellulose fiber (CNF) by biological enzymatic method," / J. Wang et al // Journal of Thermoplastic Composite Materials. – 2024. – vol. 37, № 3. – P. 1223-1241. https://doi.org/10.1177/08927057231180479.
30. Pradhan D. Emerging technologies for the production of nanocellulose from lignocellulosic biomass / D. Pradhan, A.K. Jaiswal, S. Jaiswal // Carbohydr Polym. – 2022. – vol. 285. – P. 119258. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2022.119258.
31. Cellulose nanostructures obtained using enzymatic cocktails with different compositions / T.J. Bondancia et al // Int J Biol Macromol. – 2022. – vol. 207. – P. 299-307. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2022.03.007.
32. Exploration of a novel and efficient source for production of bacterial nanocellulose, bioprocess optimization and characterization / N.E.-A. El-Naggar et al // Sci Rep. – 2022. – vol. 12, № 1. – P. 18533. https://doi.org/10.1038/s41598-022-22240-x.
33. Bacterial nanocellulose: Optimized synthesis and biomedical applications / Y. Zhou et al // Ind Crops Prod. – vol. 205. – P. 117589. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2023.117589.
34. Synthesis of Nanocellulose as a Sustainable Construction Material from Waste Paper Using the Alkaline Method at Low Temperature / P. Suanto et al // Civil Engineering and Architecture. – 2025. – vol. 13, № 1. – P. 175-192. https://doi.org/10.13189/cea.2025.130110.
35. Bacha E.G. Extraction and Characterization of Nanocellulose from Eragrostis Teff Straw / E.G. Bacha, H.D. Demsash // Journal of cellulose. – 2021.
36. Nanocellulose from oil palm biomass to enhance microbial fermentation of butanol for bioenergy applications / N. Hastuti et al // Bioresources. – 2019. – vol. 14, № 3. – P. 6936-6957. https://doi.org/10.15376/biores.14.3.6936-6957.
37. S. Głowniak and B. Szcz Recent Developments in Sonochemical Synthesis of Nanoporous Materials. – 2023.
38. Cellulose nanofibrils (CNFs) produced by different mechanical methods to improve mechanical properties of recycled paper / F. Hu et al // Carbohydr Polym. – 2021. – vol. 254. – P. 117474. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.117474.
39. A comprehensive review of cellulose nanomaterials for adsorption of wastewater pollutants: focus on dye and heavy metal Cr adsorption and oil/water separation / Y. Yang et al // Collagen and Leather. – 2024. – vol. 6, № 1. – P. 1-25. https://doi.org/10.1186/s42825-024-00179-1.

Алғыс

Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің, BR24992814 «Оңтүстік Қазақстан облысының тұрақты дамуы үшін инновациялық технологияларды дамыту және заманауи инфрақұрылым құру» қолдауымен орындалды.

А.Т. Табынбаева[1], М.Е. Сулейменова[1], К.Т. Тастамбек[1,2], Н.Ш. Акимбеков[1,2], Ж.Т. Тауанов[1,2*]
[1]Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби,
050038, Республика Қазахстан, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 71
[2]Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави,
161200, Республика Казахстан, г. Туркестан, пр. Б.Саттарханова, 29
*e-mail: tauanov.zhandos@kaznu.kz

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА MXENE И НАНОЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОТЕНЦИАЛ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В современную эпоху стремительного развития науки и технологий вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов приобретают особую актуальность. В этом контексте возрастает интерес к экологически чистым, возобновляемым и высокоэффективным материалам. MXene и наноцеллюлоза - два перспективных наноматериала, вызвавших большой научный интерес за последнее десятилетие. Их структурные особенности, химико-физические свойства и многофункциональность открывают широкие возможности применения в различных отраслях.

MXene – двумерный материал, получаемый путём селективного травления MAX-фаз. Благодаря высокой проводимости, гидрофильности, термической и химической стабильности, а

также способности к модификации, он активно исследуется в таких областях, как очистка воды, хранение энергии, электроника, сенсоры и биомедицина. Наноцеллюлоза – экологически чистый и биоразлагаемый материал растительного происхождения. Её высокая механическая прочность, большая удельная поверхность и химическая устойчивость делают её востребованной в медицине, пищевой промышленности, упаковке и производстве нанокомпозитов.

В статье подробно рассматриваются методы получения этих материалов (например, травление HF или LiF/HCl для синтеза MXene и кислотный гидролиз, механическая и ферментативная обработка для наноцеллюлозы), а также их морфологические и структурные характеристики. Особое внимание уделяется перспективам их совместного применения в виде нанокомпозитов и мембранных структур. Результаты анализа показывают, что благодаря высокой совместимости и функциональности, данные материалы имеют потенциал стать ключевыми компонентами зелёных технологий, направленных на решение экологических и техногенных проблем будущего.

Ключевые слова: *MXene, наноцеллюлоза, синтез, нанотехнология, композиты, экологические материалы, очистка воды.*

A.T. Tabynbayeva[1], M.E.Suleimenova[1], K.T. Tastambek[1,2], N.S. Akimbekov[1,2], Z.T. Tauanov[1,2*]

[1]Al-Farabi Kazakh National University,
050038, Republic of Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi av,71
[2]Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,
161200, Republic of Kazakhstan, Turkestan, B.Sattarkhanov Ave., 29
*e-mail: tauanov.zhandos@kaznu.kz

STRUCTURAL PROPERTIES OF MXENE AND NANOCELLULOSE AND THEIR APPLICATION POTENTIAL

In the modern era of rapid scientific and technological advancement, the preservation of the environment and natural resources has become increasingly important. In this context, there is growing interest in environmentally friendly, renewable, and highly efficient materials. MXene and nanocellulose are two promising nanomaterials that have attracted considerable scientific attention over the past decade. Their unique structural, chemical, and physical properties, as well as their multifunctionality, make them applicable across a wide range of fields.

MXene is a two-dimensional material derived from the selective etching of MAX phases. Due to its high conductivity, hydrophilicity, thermal and chemical stability, and tunability, it is widely studied in water purification, energy storage, electronics, sensors, and biomedical applications. Nanocellulose, a bio-based, biodegradable material obtained from plant cellulose, offers high mechanical strength, a large surface area, and chemical stability, making it a valuable material in medicine, food packaging, and nanocomposites.

This article provides a detailed review of synthesis methods for these materials (e.g., HF or LiF/HCl etching for MXene, and acid hydrolysis, mechanical, and enzymatic treatment for nanocellulose), along with their morphological and structural characteristics. It also explores their individual and combined application potentials, particularly in nanocomposites and membrane systems. The analysis shows that due to their compatibility and high functionality, these materials may serve as essential components in future green technologies aimed at solving ecological and technogenic challenges.

Key words: *MXene, nanocellulose, synthesis, nanotechnology, composites, eco-friendly materials, water purification.*

Авторлар туралы мәліметтер

Айдана Талгатовна Табынбаева – магистрант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, «Химиялық физика және материалтану» кафедрасы; e-mail: aidanatabynbaeva1@gmail.com.

Мадина Ержанкызы Сулейменова – химиялық технология магистрі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, химиялық физика және материалтану кафедрасының ғылыми қызметкері; e-mail: madekas.semey@gmail.com.

Қуаныш Талғатұлы Тастамбек – PhD, директор, Экология және биоресурстар тұрақтылығы ҒЗИ, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті; e-mail: kuanysh.tastambek@kaznu.edu.kz.

Нұралы Шардарбекұлы Акимбеков – PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, «Экология және биоресурстардың тұрақтылығы» ҒЗИ профессоры; e-mail: akimbeknur@gmail.com.

Жандос Турегулович Тауанов* – PhD, доцент-зерттеуші, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті; e-mail: tauanov.zhandos@kaznu.edu.kz.

Сведения об авторах

Айдана Талгатовна Табынбаева – магистрант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, кафедра «Химической физики и материаловедения»; e-mail: aidanatabynbaeva1@gmail.com.

Мадина Ержанкызы Сулейменова – магистр химической технологии, научный сотрудник кафедры химической физики и материаловедения Казахского национального университета имени аль-Фараби; e-mail: madekas.semey@gmail.com.

Куаныш Талгатович Тастамбек – PhD, директор, НИИ Устойчивости экологии и биоресурсов, Казахский национальный университет имени аль-Фараби; e-mail: kuanysh.tastambek@kaznu.edu.kz.

Нуралы Шардарбекович Акимбеков – PhD, профессор Казахского национального университета имени аль-Фараби, НИИ «Экология и устойчивость биоресурсов»; email: akimbeknur@gmail.com.

Жандос Турегулович Тауанов* – PhD, ассоциированный профессор-исследователь, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави; e-mail: tauanov.zhandos@kaznu.edu.kz.

Information about the authors

Aidana Tabynbayeva – Master's student, Department of Chemical Physics and Materials Science, Al-Farabi Kazakh National University; e-mail: aidanatabynbaeva1@gmail.com.

Madina Suleimenova – Master of Chemical Technology, Researcher at the Department of Chemical Physics and Materials Science, Al-Farabi Kazakh National University; e-mail: madekas.semey@gmail.com.

Kuanysh Tastambek – PhD, director, SRI Sustainability of ecology and bioresources, Al-Farabi Kazakh National University; e-mail: kuanysh.tastambek@kaznu.edu.kz.

Nuraly Akimbekov – PhD, Al-Farabi Kazakh National University, professor of the research institute «Ecology and sustainability of Bioresources»; e-mail: akimbeknur@gmail.com.

Zhandos Tauanov* – PhD, associate professor-researcher, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University; e-mail: tauanov.zhandos@kaznu.edu.kz.

Редакцияға енуі 16.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 29.08.2025
Жариялауға қабылданды 08.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-69

CC BY 4.0
Check for updates

IRSTI: 31.25.01

R.N. Tuleyeva[1,2,3]*, N.N. Gizatullina[1,2], R.A. Turganova[1,2], A.M. Belkozhayev[1], G.Toleutay[1,4]
[1]Satbayev University,
050043, Republic of Kazakhstan, Almaty, 22 Satbayev str.
[2]Research Institute of Advanced Materials,
040000, Republic of Kazakhstan, Almaty
[3]Al-Farabi Kazakh National University,
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, 71 Al-Farabi Avenue
[4]University of Tennessee,
Knoxville, TN 37996, USA
*e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com

POLYSACCHARIDE-BASED BIOPLASTICS FOR SUSTAINABLE PACKAGING: ROLE OF NONCOVALENT INTERACTIONS AND TRANSESTERIFICATION

Abstract: *The growing accumulation of plastic waste in ecosystems has catalyzed a global search for environmentally responsible packaging materials. Among biodegradable polymers, bioplastics derived from polysaccharides – especially from plant-based cellulose and its microbial analogue, bacterial cellulose (BC) – have attracted significant interest due to their renewability, biodegradability, and desirable mechanical attributes. Nevertheless, their practical application is frequently constrained by challenges such as hydrophilicity and vulnerability to environmental stressors. To overcome these issues, recent studies have explored structural modifications involving both noncovalent interactions (e.g., hydrogen bonding, ionic crosslinking) and covalent strategies such as transesterification. These approaches have been shown to improve mechanical integrity, flexibility and water resistance. This review discusses recent progress in*

engineering polysaccharide-based bioplastics, with a particular emphasis on how combined physical and chemical modifications can enhance performance. Special attention is given to hybrid systems incorporating BC, laponite, chitosan, and fatty acid esters, which demonstrate promising synergistic effects. Overall, the integration of noncovalent and covalent modifications offers a compelling strategy for developing next-generation sustainable packaging materials.

Key words: *bacterial cellulose; hydrogen bonding; ionic crosslinking; transesterification; laponite.*

Introduction

Rising environmental concerns related to plastic pollution, resource depletion, and restrictions on single-use plastics have intensified global efforts to identify sustainable alternatives to conventional packaging. Bioplastics based on natural polysaccharides have emerged as promising candidates due to their biodegradability, renewability and the potential for functional tailoring [1-3].

Among these, cellulose and its derivatives hold particular promise, owing to their widespread availability, favorable mechanical properties and processability. Bacterial cellulose (BC) highly purified form of cellulose produced by microbial fermentation, has gained increasing attention for its exceptional physical characteristics and compatibility with advanced packaging applications [4, 5]. Other polysaccharides such as chitosan, alginate, pectin, and starch have also been widely investigated for food-contact applications due to their natural origin and biocompatibility [6-8].

Despite these advantages, the practical use of polysaccharide-based materials remains limited by factors such as hydrophilicity, poor mechanical durability and sensitivity to humidity and temperature [9]. In response, researchers have focused on modifying these materials through noncovalent interactions – particularly hydrogen bonding and ionic crosslinking – to tune their molecular organization and improve bulk properties [10]. In parallel, transesterification reactions have emerged as a powerful covalent modification method, enabling the introduction of hydrophobic groups that enhance thermal stability and moisture resistance through targeted ester formation between polysaccharide hydroxyl groups and hydrophobic moieties [11].

This review provides a critical overview of current strategies in designing and modifying polysaccharide-based bioplastics using a combination of physical and chemical approaches. Emphasis is placed on the synergistic effects of noncovalent and covalent modifications, as well as the practical considerations for scaling up these materials for commercial use.

Structural Features and Functional Modifications of Cellulose and Bacterial Cellulose

Cellulose, the most abundant biopolymer on Earth, is a linear polysaccharide composed of β-(1→4)-linked D-glucose units. It is primarily obtained from plant cell walls and agricultural residues, offering a renewable and low-cost raw material for the development of bioplastics. Owing to its excellent mechanical strength, biodegradability and chemical modifiability, cellulose has become a central focus in the development of sustainable packaging materials [12]. However, the native form of cellulose exhibits limited solubility in water and most common solvents, primarily due to its dense network of intra- and intermolecular hydrogen bonds that create a highly crystalline structure. To overcome these limitations, various chemical modification strategies – such as esterification, etherification, and oxidation – are employed to improve its solubility and processability [13-15].

Several cellulose derivatives have found widespread use in bioplastic films, including cellulose acetate, carboxymethyl cellulose (CMC), and hydroxypropyl methylcellulose (HPMC). These materials are valued for their excellent film-forming capabilities and compatibility with bioactive additives. When combined with plasticizers or blended with other biopolymers, they offer improved flexibility, optical clarity, and barrier properties [16,17]. A notable example is the study by Oliveira et al., who developed transparent nanocomposite membranes by incorporating synthetic laponite into a CMC matrix. The addition of clay nanoparticles resulted in enhanced tensile strength, thermal stability, and moisture barrier performance, all while maintaining high optical transparency. Such findings underscore the promise of CMC-laponite composites as eco-friendly materials for advanced packaging applications [18].

Bacterial cellulose (BC), on the other hand, represents a highly pure and structurally unique form of cellulose produced extracellularly by bacteria such as *Komagataeibacter xylinus* [19]. Unlike plant-derived cellulose, BC is free from lignin and hemicellulose and features an intricate nanofibrillar network characterized by high crystallinity, porosity, and exceptional water-holding capacity. These properties, combined with its mechanical robustness and structural uniformity, make BC particularly well-suited for applications in food packaging, biomedical devices, and cosmetics [20, 21].

Moreover, BC exhibits exceptional compatibility with various functionalization strategies, including ionic crosslinking and surface esterification, enabling fine-tuning of its water resistance, mechanical performance, and biological activity [22]. Through composite formulation, BC can be combined with other biopolymers such as starch, chitosan, or poly(lactic acid) (PLA), yielding hybrid materials with enhanced and complementary properties [23]. For example, Xu et al. developed a biodegradable film incorporating BC, chitosan of varying molecular weights, and curcumin to improve both the functional and structural attributes of active packaging materials. The incorporation of BC contributed to improved film uniformity and mechanical strength, while chitosan enhanced barrier performance and helped modulate moisture sensitivity. Curcumin, acting as a bioactive additive, imparted antioxidant functionality to the composite. Structural analysis confirmed uniform dispersion of BC within the polymeric matrix, and the resulting films exhibited good thermal stability along with reduced water vapor permeability – features desirable for food packaging applications [24]. In another study, Shi et al. engineered a BC-based film modified with a guanidine-functionalized polymer and gallic acid to improve its performance in sustainable packaging. The resulting nanocomposite demonstrated a dense and coherent nanofibrous architecture, significantly enhancing its tensile strength and flexibility. Additionally, the film exhibited broad-spectrum antibacterial activity, effectively suppressing the growth of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. Beyond antimicrobial functionality, the material also provided UV protection, antioxidant properties and antifungal effects. Importantly, it showed the ability to biodegrade into non-toxic sugars, underscoring its potential as a safe and environmentally responsible alternative to conventional plastics [25].

Recent work by Liao et al. further illustrates the promise of BC-based composites. Their study focused on the development of multifunctional packaging films incorporating bacterial cellulose, chitosan, and ε-polylysine (ε-PL). The addition of ε-PL at controlled concentrations resulted in reinforced structural properties, as evidenced by higher tensile strength and improved thermal behavior [26]. These enhancements were attributed to increased intermolecular interactions within the composite network. The films also exhibited notable antimicrobial activity against common spoilage microorganisms. When applied to fish preservation, the films effectively prolonged shelf life by mitigating microbial proliferation and moisture loss. The composite's biodegradability and non-toxic profile make it a promising candidate for sustainable, bioactive packaging systems A schematic overview of the preparation steps is presented in Figure 1, which illustrates the integration of ε-polylysine into the polymeric network, contributing to enhanced film structure and bioactivity [26].

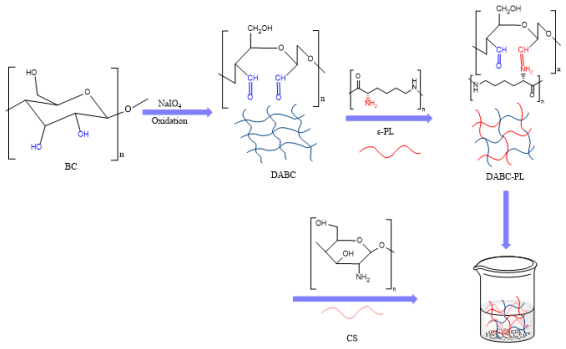


Figure 1 – Schematic illustration of the preparation of chitosan – bacterial cellulose composite films containing ε-polylysine. Adapted from [26]

Collectively, these findings highlight the adaptability and multifunctionality of bacterial cellulose when integrated into advanced material systems. Whether used alone or in combination with plant-derived cellulose, BC-based composites align with principles of circular bioeconomy through their renewable origin, low toxicity, and capacity for customization. The ability to tailor physical, chemical, and biological properties makes these materials particularly relevant for next-generation packaging solutions that balance performance with environmental responsibility [27].

Noncovalent Interactions in Polysaccharide-Based Bioplastics

Noncovalent interactions play a critical role in defining the structural integrity, mechanical strength, and barrier performance of polysaccharide-based bioplastics. These interactions – including hydrogen bonding, ionic interactions, van der Waals forces, and hydrophobic effects –

govern the self-assembly of polymer chains, the compatibility between polymer components, and the integration of functional additives within the matrix [28].

Hydrogen bonding is particularly prevalent in polysaccharide systems due to the high density of hydroxyl, carboxyl, and amine groups. In native cellulose and its derivatives, strong intra- and intermolecular hydrogen bonds form semi-crystalline structures that contribute to the material's tensile strength and stiffness [29]. However, these interactions can also limit solubility and reduce flexibility. To address this, targeted disruption or modulation of hydrogen bonding – through the use of plasticizers such as glycerol or sorbitol, or via blending with other biopolymers like starch or proteins – has been employed to optimize mechanical and moisture barrier properties [30,31]. The significance of hydrogen bonding in biopolymer interactions has been explored through computational methods. For instance, a Density Functional Theory (DFT) study by Pontoh et al. demonstrated that intermolecular hydrogen bonding between amylum (starch) and cellulose results in stable complexes with binding energies ranging from -5 to -15 kcal/mol. The formation of two to three hydrogen bonds per molecular pair was found to enhance the composite's flexibility and resistance to moisture. Reduced Density Gradient (RDG) analysis further confirmed the presence of strong and well-distributed hydrogen bonding interactions between these two polysaccharides (Figure 2) [32].

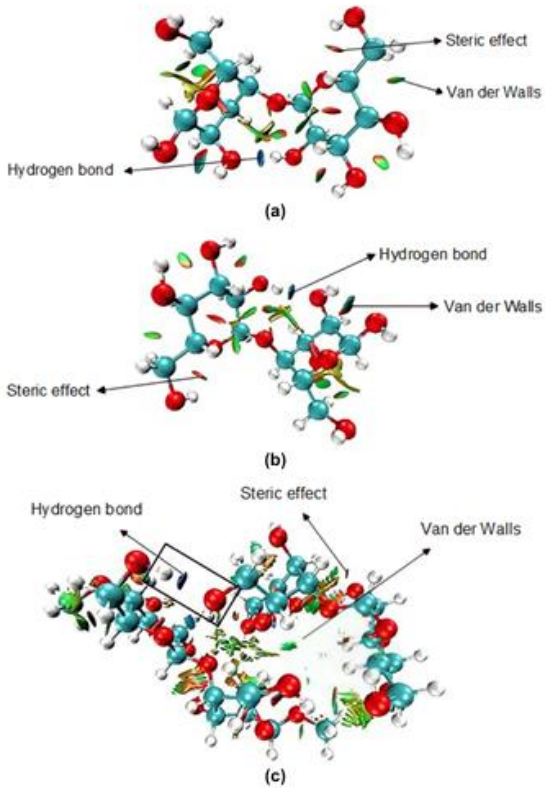


Figure 2 – Reduced Density Gradient (RDG) isosurface (a) amylum, (b) cellulose, (c) cellulose-amylum. Reproduced without modification from [32], licensed under CC BY-NC-ND 4.0

Recent developments in nanocomposite design have shown that incorporating laponite nanoclay into polysaccharide matrices significantly improves structural performance through noncovalent interactions. Yuan et al. reported that the inclusion of laponite in aqueous cellulose dispersions leads to the formation of a physically cross-linked gel network, predominantly stabilized by electrostatic interactions and hydrogen bonds. This internal architecture markedly enhanced the tensile strength and morphological uniformity of the resulting films [33].

Similar findings were observed in starch-based systems. Da Silva et al. demonstrated that adding laponite to cassava starch matrices yields nanocomposite films with lower water content, increased opacity, and superior barrier efficiency. The presence of laponite was found to promote tighter molecular packing and facilitate intermolecular interactions, resulting in films with improved mechanical durability and reduced moisture permeability [34].

Together, these findings highlight the critical role of noncovalent cross-linking mechanisms – particularly hydrogen bonding and electrostatic interactions – in reinforcing the structural

architecture of polysaccharide-based bioplastics [35]. The incorporation of laponite, in this context, emerges as a versatile strategy to tailor the mechanical and barrier properties of films for applications such as sustainable food packaging .

In BC, the inherent nanofibrillar structure stabilized by extensive hydrogen bonding provides exceptional mechanical strength and water retention capabilities. Functional enhancement of BC-based films can be achieved by introducing additional hydrogen-bonding moieties through the incorporation of polymers such as poly(vinyl alcohol), chitosan, or tannic acid, which strengthen intermolecular cohesion and improve overall film performance [36]. Recent advances have also explored the surface functionalization of BC to introduce antimicrobial activity while preserving its biodegradability. For example, lauric acid-modified BC films have shown selective antibacterial efficacy – particularly against *Bacillus subtilis* – without impairing their natural degradation behavior. In biodegradability assays, untreated BC films degraded by over 50% within three days and nearly completely within a week when placed in soil, underscoring their environmental compatibility. This combination of selective bioactivity and rapid degradation positions lauric acid-treated BC as a promising material for active and eco-conscious packaging applications [37]. Additional work by Gea et al. demonstrated the development of bioplastic films from cassava starch and bacterial cellulose, enhanced with *Zanthoxylum acanthopodium* extract. The resulting materials displayed improved tensile strength (2.34 MPa) and measurable antibacterial activity against *Bacillus cereus* (inhibition zone: 10.8 mm), confirming their potential for use in sustainable and functional food packaging systems [38].

Polysaccharides containing ionizable functional groups – such as carboxyls in carboxymethyl cellulose (CMC), amines in chitosan, and sulfate groups in carrageenan – can engage in ionic crosslinking with oppositely charged polymers or multivalent ions, forming polyelectrolyte complexes (PECs). These complexes often exhibit superior cohesion, mechanical strength, and moisture resistance compared to unmodified polysaccharide matrices [39].

For instance, CMC has been shown to form stable electrostatic complexes with biopolymers such as chitosan and alginate, or with metal ions like Ca^{2+} and Zn^{2+}. These interactions contribute to enhanced dimensional stability and in some cases, impart antimicrobial functionality – features particularly desirable in food packaging where material performance and bioactivity are essential [40, 41].

In composite systems, ionic interactions often serve as physical cross-linking points that stabilize the polymer network without requiring chemical crosslinkers or initiators, thus supporting the development of environmentally benign materials aligned with green chemistry principles [42]. A notable example is the work by Blilid et al., who fabricated chitosan-based bioplastics reinforced with phosphorylated micro- and nanocellulose. The introduced phosphate groups facilitated strong polyelectrolyte interactions with the chitosan matrix, leading to significant improvements in mechanical properties, including a tensile modulus increase to 1.649 MPa. Moreover, the composites demonstrated biological functionalities such as antibacterial activity and catalase-like behavior. Scanning electron microscopy (SEM) images (Figure 3) revealed a homogeneous dispersion of cellulose fillers and strong interfacial adhesion, attributed to both ionic and hydrogen bonding interactions. These morphological features directly correlate with the enhanced mechanical and functional performance of the resulting bioplastic films [43].

Transesterification as a Strategy for Hydrophobic and Thermal Modification

Transesterification has gained prominence as a flexible and sustainable chemical approach for modifying polysaccharides to improve their functional performance in bioplastic applications. This reaction involves the exchange of ester groups between a hydroxyl-rich polymer – such as cellulose or its derivatives – and ester-containing compounds, typically in the presence of a catalyst or base [44]. Compared to conventional acylation processes, transesterification offers a greener alternative, particularly when performed in solvent-free media or using environmentally benign solvents [11].

In the context of polysaccharide chemistry, transesterification primarily targets the hydroxyl groups along the sugar backbone. Reaction with ester donors such as vinyl esters, fatty acid methyl esters (FAMEs), or triglycerides leads to the formation of hydrophobic ester linkages. This structural modification reduces polymer polarity, enhances resistance to water and increases thermal stability. It also contributes to slower biodegradation under humid conditions – an advantage for materials intended for controlled degradation in packaging contexts [45].

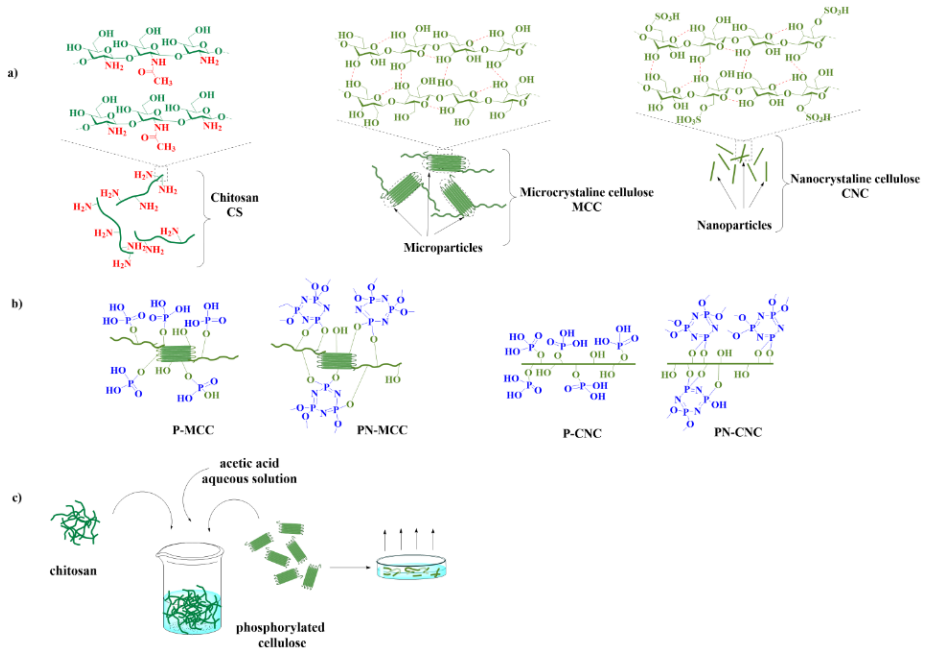


Figure 3 – Schematic representation of the preparation of chitosan films reinforced with phosphorylated cellulose:
(a) Chemical structures of chitosan and cellulose, highlighting structural differences between amorphous microcrystalline cellulose (MCC) and crystalline cellulose nanocrystals (CNC). (b) Structure of phosphorylated cellulose containing ionic phosphate groups. (c) Stepwise fabrication process of composite films and corresponding digital images of chitosan matrices embedded with phosphorylated cellulose. Adapted from [43]

A representative example is the work by Yan et al., who successfully grafted cellulose with poly(L-lactide) (PLLA) chains through ring-opening polymerization of L-lactide in the ionic liquid AmimCl, using 4-dimethylaminopyridine (DMAP) as a catalyst. The resulting cellulose-g-PLLA copolymers exhibited thermoplastic behavior due to the disruption of native hydrogen bonding and the incorporation of flexible ester linkages. These modifications not only improved melt processability and thermal flexibility but also enabled the formation of films and fibers suitable for biodegradable packaging [46]. Another noteworthy example is the study by Onwukamike et al., who developed a direct transesterification protocol using high oleic sunflower oil and cellulose in a DBU-CO_2 switchable solvent system. This reaction proceeds under mild conditions without the need for prior activation or the use of toxic reagents. The resulting cellulose fatty acid esters displayed reduced hydrophilicity, enhanced thermal stability, and favorable mechanical characteristics. These attributes collectively increase the material's suitability for application in sustainable packaging solutions. The reaction mechanism, presented in Figure 4, illustrates the formation of covalent ester linkages between cellulose hydroxyl groups and fatty acid esters, which are central to the enhanced performance of the modified polymer [47].

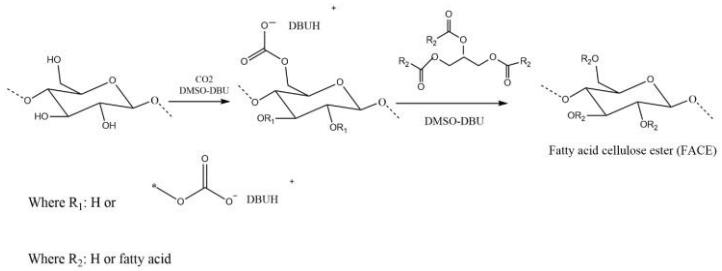


Figure 4 – Proposed mechanism of cellulose transesterification with high oleic sunflower oil in the presence of DBU-CO_2 switchable solvent. Adapted from [47]

Conclusion

Polysaccharide-based bioplastics offer a viable and environmentally sustainable alternative to petroleum-derived polymers, especially for packaging applications where biodegradability, biocompatibility and renewability are critical. Nonetheless, their broader adoption continues to be limited by challenges such as high water sensitivity, insufficient mechanical strength and vulnerability

to environmental conditions. A growing body of research has demonstrated that noncovalent interactions – particularly hydrogen bonding and ionic crosslinking – can significantly improve the structural integrity and functional properties of these materials. At the same time, covalent modification via transesterification has emerged as a practical strategy for reducing hydrophilicity and enhancing thermal resistance, without compromising the biodegradability of the polymer backbone.

The integration of components such as bacterial cellulose, laponite, and bioactive fillers illustrates the potential of combining physical and chemical approaches to develop materials with tailored performance. This synergistic design philosophy enables the creation of bioplastics with improved mechanical robustness, barrier properties, and functional versatility – key attributes for next-generation sustainable packaging. To move these materials closer to real-world application, future research should prioritize scalable and cost-effective synthesis methods, a deeper understanding of structure – property relationships, and compliance with regulatory and industrial standards. Equally important is the evaluation of end-of-life behavior, including biodegradation kinetics, environmental impact, and suitability for composting or recycling systems. Addressing these areas will be essential for translating laboratory innovations into durable, high-performance, and ecologically sound packaging solutions.

References

1. Biodegradable, hygienic, and compostable tableware from hybrid sugarcane and bamboo fibers as plastic alternative / C. Liu et al // Matter. – 2020. – Vol. 3, № 6. – P. 2066-2079. https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.10.004.
2. Zhu Y. Sustainable polymers from renewable resources / Y. Zhu, C. Romain, C.K. Williams // Nature. – 2016. – Vol. 540, № 7633. – P. 354-362. https://doi.org/10.1038/nature21001.
3. Lignin as a wood-inspired binder enabled strong, water stable, and biodegradable paper for plastic replacement / B. Jiang et al // Adv. Funct. Mater. – 2020. – Vol. 30, № 4. – P. 1906307. https://doi.org/10.1002/adfm.201906307.
4. Increased production of bacterial cellulose as starting point for scaled-up applications / M. Gullo et al // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2017. – Vol. 101. – P. 8115-8127. https://doi.org/10.1007/s00253-017-8539-3.
5. Cost-effective synthesis of bacterial cellulose and its applications in the food and environmental sectors / T. Kamal et al // Gels. – 2022. – Vol. 8, № 9. – P. 552. https://doi.org/10.3390/gels8090552.
6. Recent trends in the application of films and coatings based on starch, cellulose, chitin, chitosan, xanthan, gellan, pullulan, Arabic gum, alginate, pectin, and carrageenan in food packaging / H. Rostamabadi et al // Food Front. – 2024. – Vol. 5, № 2. – P. 350-391. https://doi.org/10.1002/fft2.342.
7. Chitosan and pectin-based films and coatings with active components for application in antimicrobial food packaging / J. Jovanović et al // Prog. Org. Coat. – 2021. – Vol. 158. – P. 106349. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106349.
8. Aleksanyan K.V. Polysaccharides for biodegradable packaging materials: Past, present, and future (Brief Review) / K.V. Aleksanyan // Polymers (Basel). – 2023. – Vol. 15, № 2. – P. 451. https://doi.org/10.3390/polym15020451.
9. Popyrina T.N. Polysaccharide-based films: from packaging materials to functional food / T.N. Popyrina, T.S. Demina, T.A. Akopova // J. Food Sci. Technol. – 2023. – Vol. 60, № 11. – P. 2736-2747. https://doi.org/10.1007/s13197-022-05595-x.
10. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review / P. Cazón et al // Food Hydrocoll. – 2017. – Vol. 68. – P. 136-148. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009.
11. Chemical modification of polysaccharides for sustainable bioplastics / Z. Wang et al // Trends in Chemistry. – 2024. – Vol. 6, № 6. – P. 314-331. https://doi.org/10.1016/j.trechm.2024.04.009.
12. A review on the modification of cellulose and its applications / T. Aziz et al // Polymers (Basel). – 2022. – Vol. 14, № 15. – P. 3206. https://doi.org/10.3390/polym14153206.
13. Cellulose: a review of water interactions, applications in composites, and water treatment / A. Etale et al // Chem. Rev. – 2023. – Vol. 123, № 5. – P. 2016-2048. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00477.
14. Cellulose and starch-based bioplastics: a review of advances and challenges for sustainability / M.T. Hossain et al // Polymer-Plastics Technology and Materials. – 2024. – Vol. 63, № 10. – P. 1329-1349. https://doi.org/10.1080/25740881.2024.2329980.

15. An insight overview of bioplastics produced from cellulose extracted from plant material, its applications and degradation / S. Nigam et al // Environmental Sustainability. – 2022. – Vol. 5, № 4. – P. 423-441. https://doi.org/10.1007/s42398-022-00248-3.
16. Bio-based packaging: materials, modifications, industrial applications and sustainability / C.L. Reichert et al // Polymers. – 2020. – Vol. 12, № 7. https://doi.org/10.3390/polym12071558.
17. Tunable mechanical properties in biodegradable cellulosic bioplastics achieved via ring-opening polymerization / J. Kim et al. // ACS Nano. – 2025. https://doi.org/10.1021/acsnano.4c16563.
18. Transparent organic-inorganic nanocomposite membranes based on carboxymethylcellulose and synthetic clay / R.L. de Oliveira et al // Ind. Crops Prod. – 2015. – Vol. 69. – P. 415-423. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.015.
19. Bacterial cellulose as a raw material for food and food packaging applications / H.M.C. Azeredo et al // Front. Sustain. Food Syst. – 2019. – Vol. 3. https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00007.
20. Recent advances in bacterial cellulose: a low-cost effective production media, optimization strategies and applications / H. El-Gendi et al // Cellulose. – 2022. – Vol. 29, № 14. – P. 7495-7533. https://doi.org/10.1007/s10570-022-04697-1.
21. Bacterial cellulose: production, characterization, and application as antimicrobial agent / D. Lahiri et al // Int. J. Mol. Sci. – 2021. – Vol. 22, № 23. – P. 12984. https://doi.org/10.3390/ijms222312984.
22. Cazón P. Bacterial cellulose as a biodegradable food packaging material: a review / P. Cazón, M. Vázquez // Food Hydrocoll. – 2021. – Vol. 113. – P. 106530. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106530.
23. Application of bacterial cellulose film as a biodegradable and antimicrobial packaging material / K.A. Zahan et al // Mater. Today Proc. – 2020. – Vol. 31. – P. 83-88. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.201.
24. Development and properties of bacterial cellulose, curcumin, and chitosan composite biodegradable films for active packaging materials / Y. Xu et al // Carbohydr. Polym. – 2021. – Vol. 260. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117778.
25. Active biodegradable bacterial cellulose films with potential to minimize the plastic pollution: preparation, antibacterial application, and mechanism / X. Shi et al // Food Chem. – 2025. – Vol. 464. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141852.
26. Physicochemical, antibacterial and food preservation properties of active packaging films based on chitosan/ε-polylysine-grafted bacterial cellulose / W. Liao et al // Int. J. Biol. Macromol. – 2023. – Vol. 253. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127231.
27. Kamaruddin I. The novel trend of bacterial cellulose as biodegradable and oxygen scavenging films for food packaging application: an integrative review / I. Kamaruddin, A. Dirpan, F. Bastian // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. – 2021. – Vol. 807, № 2. – P. 022066. https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/2/022066.
28. Conversion of macroalgae into environmentally friendly bioplastics by noncovalent bond assembly / S. Zhang et al // ACS Sustain. Chem. Eng. – 2024. – Vol. 12, № 47. – P. 17372-17382. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c07767.
29. Tough, degradable bioplastics enabling by noncovalent assembly of polysaccharides and inorganic ionic oligomers / Y. Ma et al // ACS Appl. Polym. Mater. – 2025. – Vol. 7, № 3. – P. 1896-1908. https://doi.org/10.1021/acsapm.4c03721.
30. Strengthening and toughening of TEMPO-oxidized cellulose nanofibers/polymers composite films based on hydrogen bonding interactions / R. Zhao et al // Compos. Commun. – 2022. – Vol. 35. – P. 101322. https://doi.org/10.1016/j.coco.2022.101322.
31. A strong, biodegradable and recyclable lignocellulosic bioplastic / Q. Xia et al // Nat. Sustain. – 2021. – Vol. 4, № 7. – P. 627-635. https://doi.org/10.1038/s41893-021-00702-w.
32. Pontoh R. Density functional theory study of intermolecular interactions between amylum and cellulose / R. Pontoh, A. Nuryadin, H. Suryadi // Indonesian J. Chem. – 2022. – Vol. 22, № 1. – P. 253-262. https://doi.org/10.22146/ijc.69241.
33. Cross-linkage effect of cellulose/laponite hybrids in aqueous dispersions and solid films / Z. Yuan et al // Carbohydr. Polym. – 2014. – Vol. 102, № 1. – P. 431-437. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.11.051.
34. Microstructure and physical properties of nano-biocomposite films based on cassava starch and laponite / G.A. Valencia et al // Int. J. Biol. Macromol. – 2018. – Vol. 107. – P. 1576-1583. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.031.

35. Polysaccharide-based high barrier food packaging film: design and application / J. Guo et al // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. – P. 1-20. https://doi.org/10.1080/10408398.2025.2476118.
36. Development of polyvinyl alcohol/chitosan/modified bacterial nanocellulose films incorporated with 4-hexylresorcinol for food packaging applications / K.W. Choo et al // Food Packag. Shelf Life. – 2021. – Vol. 30. – P. 100769. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100769.
37. Application of bacterial cellulose film as a biodegradable and antimicrobial packaging material / K.A. Zahan et al // Mater. Today Proc. – 2020. – Vol. 31. – P. 83-88. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.201.
38. Cassava starch/bacterial cellulose-based bioplastics with Zanthoxylum acanthopodium / S. Gea et al // Biodiversitas. – 2022. – Vol. 23, № 5. – P. 2601-2608. https://doi.org/10.13057/biodiv/d230542.
39. Alvarado N. Use of chitosan-based polyelectrolyte complexes for its potential application in active food packaging: a review of recent literature / N. Alvarado, R.L. Abarca, C. Linares-Flores // Int. J. Mol. Sci. – 2023. – Vol. 24, № 14. https://doi.org/10.3390/ijms241411535.
40. Roy S. Carboxymethyl cellulose-based antioxidant and antimicrobial active packaging film incorporated with curcumin and zinc oxide / S. Roy, J.-W. Rhim // Int. J. Biol. Macromol. – 2020. – Vol. 148. – P. 666-676. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.204.
41. Antimicrobial dual ionic-covalent κ-carrageenan/carboxymethyl chitosan membranes with robust moisture retention property / H. Zhang et al // Polym. Adv. Technol. – 2023. – Vol. 34, № 2. – P. 691-701. https://doi.org/10.1002/pat.5920.
42. Metal-coordination and surface adhesion-assisted molding enabled strong, water-resistant carboxymethyl cellulose films / W. Yang et al // Carbohydr. Polym. – 2022. – Vol. 298. – P. 120084. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120084.
43. Phosphorylated micro- and nanocellulose-filled chitosan nanocomposites as fully sustainable, biologically active bioplastics / S. Blilid et al // ACS Sustain. Chem. Eng. – 2020. – Vol. 8, № 50. – P. 18354-18365. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c04426.
44. Homogeneous transesterification of sugar cane bagasse toward sustainable plastics / M.-J. Chen et al // ACS Sustain. Chem. Eng. – 2017. – Vol. 5, № 1. – P. 360-366. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b01735.
45. Organocatalytic esterification of polysaccharides for food applications: a review / K.V. Ragavan et al // Trends Food Sci. Technol. – 2022. – Vol. 119. – P. 45-56. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.028.
46. Thermoplastic cellulose-graft-poly(L-lactide) copolymers homogeneously synthesized in an ionic liquid with 4-dimethylaminopyridine catalyst / C. Yan et al // Biomacromolecules. – 2009. – Vol. 10, № 8. – P. 2013-2018. https://doi.org/10.1021/bm900447u.
47. Sustainable transesterification of cellulose with high oleic sunflower oil in a DBU–CO_2 switchable solvent / K.N. Onwukamike et al // ACS Sustain. Chem. Eng. – 2018. – Vol. 6, № 7. – P. 8826-8835 https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b01186.

Funding

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR27199103- Project Title: Development of Eco-Friendly Packaging Materials from Recyclable Paper and Biomass Waste with Adaptive and Enhanced Protective Properties)

Р.Н. Тулеева[1,2,3] *, Н.Н. Гизатуллина[1,2], Р.А. Турганова[1,2], А.М. Белкожаев[1], Г. Толеутай[1,4]
[1]Сәтбаев университеті,
050043, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Сәтпаев көшесі, 22
[2]Жетілдірілген Материалдар Ғылыми-Зерттеу Институты,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ
[3]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., әл-Фараби даңғылы, 71
[4]Теннесси университеті,
Ноксвилл, TN 37996, АҚШ
*e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com

ТҰРАҚТЫ ОРАУЫШ МАТЕРИАЛДАРҒА АРНАЛҒАН ПОЛИСАХАРИД НЕГІЗІНДЕГІ БИОПЛАСТИКТЕР: КОВАЛЕНТТІ ЕМЕС ӘРЕКЕТТЕСУЛЕР МЕН ТРАНСЭТЕРИФИКАЦИЯНЫҢ РӨЛІ

Қоршаған ортада пластик қалдықтарының шектен тыс жиналуы экологиялық жағынан қауіпсіз және ыдырайтын орауыш материалдарын жасауға деген жаһандық қызығушылықты арттырды. Биологиялық ыдырайтын полимерлердің ішінде өсімдік тектес целлюлоза мен оның микробтық аналогы – бактериалды целлюлозадан (БЦ) алынатын биопластиктер жаңартылатындығы, ыдырайтындығы және қолайлы механикалық қасиеттері арқасында ерекше назар аудартып отыр. Алайда, олардың практикалық қолданылуы гидрофильділігі мен сыртқы орта әсерлеріне сезімталдығы сияқты мәселелермен шектеледі. Бұл кемшіліктерді жою үшін соңғы зерттеулерде полисахаридтер құрылымын ковалентті емес әрекеттесулер (мысалы, сутектік байланыстар, иондық айқас байланыстар) және ковалентті модификациялар (мысалы, трансэтерификация) арқылы түрлендіру жолдары қарастырылуда. Мұндай тәсілдер материалдардың механикалық беріктігін, икемділігін және суға төзімділігін едәуір арттыра алады. Осы шолуда полисахарид негізіндегі биопластиктерді жетілдіруге бағытталған соңғы ғылыми жетістіктер талданып, физикалық және химиялық модификацияларды біріктіру арқылы олардың жұмыс сипаттамаларын жақсарту мүмкіндіктері қарастырылады. Әсіресе бактериалды целлюлоза, лапонит, хитозан және май қышқылының эфирлерінен тұратын гибридті жүйелердің синергетикалық әсеріне ерекше көңіл бөлінеді. Жалпы алғанда, ковалентті емес және ковалентті модификацияларды біріктіру – келешегі зор тұрақты орауыш материалдарын жасау үшін тиімді стратегия ретінде қарастырылады.

Түйін сөздер: *бактериалды целлюлоза; сутектік байланыс; иондық айқас байланыс; трансэтерификация; лапонит.*

Р.Н. Тулеева[1,2,3] *, Н.Н. Гизатуллина[1,2], Р.А. Турганова[1,2], А.М. Белкожаев[1], Г.Толеутай[1,4]
[1]Сатбаев университет,
050043, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22
[2]Научно-Исследовательский Институт Перспективных Материалов,
040000, Республика Казахстан, г. Алматы
[3]Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71
[4] Университет Теннесси,
Ноксвилл, TN 37996, США
*e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com

БИОПЛАСТИКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ ДЛЯ УСТОЙЧИВОЙ УПАКОВКИ: РОЛЬ НЕКОВАЛЕНТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И ТРАНСЭТЕРИФИКАЦИИ

Усиление проблемы загрязнения окружающей среды пластиковыми отходами стимулировало во всём мире активный поиск экологически безопасных и устойчивых упаковочных материалов. Среди биоразлагаемых полимеров особый интерес вызывают биопластики на основе полисахаридов – особенно из растительной целлюлозы и её микробного аналога, бактериальной целлюлозы (БЦ) – благодаря их возобновляемости, способности к биодеградации и благоприятным механическим свойствам. Тем не менее, их практическое применение часто ограничивается такими факторами, как гидрофильность и уязвимость к внешним воздействиям. Для преодоления этих ограничений в последние годы активно изучаются структурные модификации, включающие как нековалентные взаимодействия (например, водородные связи, ионная сшивка), так и ковалентные подходы, такие как трансэтерификация. Эти методы доказали свою эффективность в повышении механической прочности, гибкости и водостойкости материалов. В данном обзоре рассматриваются современные достижения в области разработки биопластиков на основе полисахаридов с особым акцентом на сочетание физических и химических модификаций для улучшения эксплуатационных характеристик. Особое внимание уделяется гибридным системам с участием бактериальной целлюлозы, лапонита, хитозана и эфиров жирных кислот, демонстрирующим перспективные синергетические эффекты. В целом, интеграция нековалентных и ковалентных модификаций представляет собой перспективную стратегию для создания упаковочных материалов нового поколения, ориентированных на устойчивое развитие.

Ключевые слова: *бактериальная целлюлоза; водородные связи; ионная сшивка; трансэтерификация; лапонит.*

Information about the authors

Rysgul Nurlanovna Tuleyeva* – PhD Candidate, Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Research Scientist, Research Institute of Advanced Materials, Republic of Kazakhstan; e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9691-4274.

Nargiz Nurmukhametovna Gizatullina – Master of Department of Chemical and Biochemical Engineering, Geology and Oil-Gas Business Institute Named After K. Turyssov, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Research Scientist, Research Institute of Advanced Materials, Republic of Kazakhstan; e-mail: nar.gn@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4230-1031.

Ronagul Adiljanovna Turganova – PhD, Research Scientist, Department of Chemical and Biochemical Engineering, Geology and Oil-Gas Business Institute Named After K. Turyssov, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Research Institute of Advanced Materials, Republic of Kazakhstan; e-mail: ronagul.turganova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7538-7340.

Ayaz Maratovich Belkozhayev – PhD, Associate Professor of Department of Chemical and Biochemical Engineering, Geology and Oil-Gas Business Institute Named After K. Turyssov, Satbayev University, Republic of Kazakhstan; e-mail: a.belkozhayev@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7429-4994.

Gaukhar Toleutay – PhD of Department of Chemical and Biochemical Engineering, Geology and Oil-Gas Business Institute Named After K. Turyssov, Satbayev University, Republic of Kazakhstan; e-mail: gaukhar.toleutay@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0381-6665.

Авторлар туралы мәліметтер

Рысгуль Нурлановна Тулеева * – докторант, органикалық заттар, табиғи қосылыстар және полимерлер химиясы мен технологиясы кафедрасы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Жетілдірілген Материалдар Ғылыми-Зерттеу Институты, Қазақстан; e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9691-4274.

Наргиз Нурмухаметовна Гизатуллина – Магистр, химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасы, К. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті, Қазақстан, Жетілдірілген Материалдар Ғылыми-Зерттеу Институты, Қазақстан; e-mail: nar.gn@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4230-1031.

Ронагуль Адилжановна Турганова – PhD, химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасы, К. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті, Қазақстан, Жетілдірілген Материалдар Ғылыми-Зерттеу Институты, Қазақстан; e-mail: ronagul.turganova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7538-7340.

Аяз Маратович Белкожаев – PhD, химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасының қауымдастырылған профессоры, К. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті, Қазақстан; e-mail: a.belkozhayev@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7429-4994.

Гаухар Толеутай – PhD, Химиялық және биохимиялық инженерия кафедрасы, К. Тұрысов атындағы Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті, Қазақстан; e-mail: gaukhar.toleutay@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0381-6665.

Сведения об авторах

Рысгуль Нурлановна Тулеева* – докторант кафедры химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров Казахского национального университет им. аль-Фараби, Казахстан, Научно-Исследовательский Институт Перспективных Материалов, Казахстан; e-mail: rysgultuleyeva@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9691-4274.

Наргиз Нурмухаметовна Гизатуллина – магистр кафедры химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Университет Сатпаева, Казахстан, Научно-Исследовательский Институт Перспективных Материалов, Казахстан; e-mail: nar.gn@bk.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4230-1031.

Ронагуль Адилжановна Турганова – PhD, кафедра химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Университет Сатпаева, Казахстан, Научно-Исследовательский Институт Перспективных Материалов, Казахстан; e-mail: ronagul.turganova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7538-7340.

Аяз Маратович Белкожаев – PhD, ассоциированный профессор кафедры химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Университет Сатпаева, Казахстан; e-mail: a.belkozhayev@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7429-4994.

Гаухар Толеутай – PhD кафедры химической и биохимической инженерии Института геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова, Университет Сатпаева, Казахстан; e-mail: gaukhar.toleutay@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0381-6665.

Received 04.07.2025
Revised 04.09.2025
Accepted 11.09.2025

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-3(19)-70

ҒТАХР: 35.15.19

BY 4.0
Check for updates

М. Әліпұлы[1*], Қ. Асқарұлы[1], Қ. Тоштай[2], Н.Н. Нұрғалиев[3], С. Азат[1]
[1]Satbayev Univeristy,
050013, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Сатпаев к-сі, 22
[2]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Әл-Фараби даңғ., 71
[3]Шәкәрім Университеті,
071410, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20А
*e-mail: mukhtaralipuly@gmail.com

КРЕМНИЙДІ (SIO_2/SIOX/SI) ӘРТҮРЛІ ӘДІСТЕРМЕН ЕНГІЗУ АРҚЫЛЫ MXENE АРҚЫЛЫ АЛЫНҒАН МАТЕРИАЛДАРДЫ МОДИФИКАЦИЯЛАУ: СИНТЕЗ ӘДІСТЕРІН ЖӘНЕ БАЛАМА БЕТТІК МОДИФИКАЦИЯЛАРДЫ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа: *MXene – өтпелі металдардың екі өлшемді карбидтері мен нитридтеріне жататын перспективалы материалдар класы. Олар жоғары электр өткізгіштік, үлкен беттік аудан, гидрофильділік және беткі құрамының икемділігі сияқты бірегей қасиеттердің үйлесімі арқасында кең ғылыми қызығушылыққа ие. Бұл қасиеттер MXene-ді энергия сақтау, сенсорлар, электрокатализ, сүзгілеу және қоршаған ортаны тазарту салаларында қолдануға мүмкіндік береді. Дегенмен, тотығуға бейімділік пен ұзақ мерзімді тұрақтылықтың жеткіліксіздігі оларды практикалық қолдануда шектейтін маңызды факторлар болып табылады.*

Осы шектеулерді еңсеру мақсатында кремнийге негізделген модификациялар – атап айтқанда Si, SiO_2 және SiOx қолдану – MXene құрылымының тұрақтылығын арттырудың тиімді стратегиясы ретінде ұсынылуда. Бұл шолу кремнийқұрамды компоненттерді пайдалану арқылы жүзеге асырылатын функционализация әдістерін талдайды. Олардың қатарына сол-гель синтезі, Штебер әдісі, газ фазасындағы химиялық тұндыру (CVD), атом қабатын тұндыру (ALD) және бүрку тәсілдері жатады.

Кремниймен модификациялау материалдардың тотығуға төзімділігін, термиялық тұрақтылығын, беттік ауданын және композиттермен үйлесімділігін жақсартады. Мұндай жақсартылған қасиеттер кремнийлі MXene-дердің литий- және алюминий-ионды аккумуляторлар, суперконденсаторлар, сенсорлар мен катализаторлардағы өнімділігін арттырады. Сонымен қатар, олардың фотокатализ бен зиянды заттарды адсорбциялау қабілеті қоршаған ортаны қорғау технологияларында қолдануға мүмкіндік береді. Бұл шолу болашақта MXene материалдарын көпфункциялы жүйелерге біріктірудің тұрақты әрі масштабталатын әдістерін де қарастырады.

Түйін сөздер: *Mxene, кремний диоксиді (SiO_2), беттік модфикация, энергия сақтау, су тазарту, фотокатализ*

1. Кіріспе

MXenes – A элементін (әдетте Al немесе Si сияқты 13 немесе 14 топ элементі) [1] селективті қышқылмен өңдеу арқылы MAX қабатты фазаларынан алынған екі өлшемді карбидтердің, нитридтердің және өтпелі металл карбонитридтерінің жаңа класы. MXenes жалпы формуласы, $M_{n+1}X_nT_x$ (мұндағы n = 1-3, M – ерте өтпелі металл, X – C және/немесе N, ал T функционалы – беттік функционалды топтар) олардың оңай реттелетін құрылымы мен химиялық құрамын көрсетеді. 2011 жылы Naguib пен оның авторлары $Ti_3C_2T_x$ қосылысын алғашқы рет MXene ретінде сипаттаған [2], және 2017 жылы Anasori және Gogotsi бастаған зерттеулер 30-дан астам эксперименттік MXene түрлерін синтездеді және мыңдаған теориялық болжамдарды дамытты [1].

Олардың жоғары электрөткізгіштік, үлкен арнайы беткі ауданы, гидрофильділік және қабаттар арасын реттей алу қабілетінің ерекше үйлесімі бар MXene, көптеген салаларда әмбебап болып саналды. Атап айтқанда, олар энергияны сақтау (литий-ионды, натрий-ионды және мырыш-ионды аккумуляторлар; суперконденсаторлар) [1], электромагниттік кедергілерден қорғау [3], фотокатализ [4], биосенсорлық [5] және мембраналық технологиялар [6] саласында тамаша өнімділікті көрсетті.

Алайда, әлеуетіне қарамастан, бастапқы MXene-дерді қолдану ішкі бірқатар шектеулермен байланысты [7]. Олар тотығуға бейім, әсіресе сулы және ылғалды ортада, бұл өнімділікті айтарлықтай нашарлатады және сақтау мерзімін шектейді [8]. Күшті Ван-дер-Вальс

күштеріне байланысты нанолистерді толықтыру электрохимиялық қосымшаларда қол жетімді беткі аймақ пен иондардың диффузиясын шектейді [9]. Олардың химиялық реактивтілігі мен беткі қабатының тоқтауы ою әдісіне байланысты өзгеріп отырады, бұл бақылау мен репродуктивтілікті қиындатады [10].

Осы мәселелерді шешу үшін беттік модификация полимерлі беттерді тұрақтандыру мен функционалдандырудың маңызды стратегиясына айналды [11]. Әр түрлі әдістердің ішінде кремний негізіндегі материалдарды, соның ішінде SiO_2, SiO_X және элементті кремнийді қолдану арқылы модификациялау әсіресе тартымды [12]. Кремний қосылыстарының бірқатар артықшылықтары бар:

– SiO_2 бетінің реактивтілігін айтарлықтай төмендетпестен тотығуды болдырмайтын қорғаныс, оқшаулағыш қабықты қамтамасыз етеді [13];

– SiO_X қабаттарын "ядро–қабық" жүйелерін немесе қалыңдығы мен кеуектілігі реттелетін гибридті жүйелерді құру үшін пайдалануға болады [14].

– Si элементтері электрохимиялық реакцияларға қатыса алады (мысалы, батарея анодтары), көлемнің өзгеруін өтеу және электронды тасымалдауды жақсарту үшін Mxene синергетикалық өзара әрекеттеседі.

«Жасыл химия» саласындағы соңғы жетістіктер кремний диоксидін ауыл шаруашылығы қалдықтары мен кен өндіру өнеркәсібінің қосалқы өнімдерінен, мысалы, күріш қауызынан, бидай сабанынан және ұшпа күлден синтездеуге мүмкіндік берді. Бұл биогендік немесе қалдықтардан алынған кремний диоксиді шығындар мен қоршаған ортаға әсерді төмендетіп қана қоймайды, сонымен қатар оксен-кремний диоксиді гибридінің функционалдығын жақсартатын бірегей микроқұрылымдық қасиеттерге ие.

Бұл шолуда біз кремний негізіндегі стратегияларды қолдана отырып, MXene материалдарын өзгерту үшін қолданылатын әртүрлі әдістердің толық сипаттамасы ұсынылады (1-кесте). Химиялық синтездің дәстүрлі тәсілдері де, қалдықтардан кремний диоксидін біріктірудің тұрақты жолдары да зерттеледі. Шолу сонымен қатар алынған құрылымдық, электрохимиялық және экологиялық жақсартуларды көрсетеді, және MXene мен кремний бар материалдар арасындағы синергияны талқылайды. Жаңа будандар мен экологиялық таза қайта өңдеу технологияларын қоса алғанда, болашақ зерттеулердің мүмкіндіктерін сипаттайды.

Кесте 1 – MXene шектеулері мен модификация тәсілдерінің қысқаша мазмұны

Шектеу	Әсері	Кремний модификациясының шешімі	Сілтеме
Тотығу	Пайдалану сипаттамаларының нашарлауы	Белсенді беттерді қорғау үшін SiO_2 қабықшасы (жабындысы)	[15]
Қорларды толықтыру	Бетінің ауданын азайту	Тығыздағыш ретінде кеуекті кремний диоксиді	[16]
Нашар айналым	Механикалық тұрақсыздық	Si-MXene композитінің буферлеуі	[17]

2. MXene бетінің химиялық құрамы және реактивтілігі

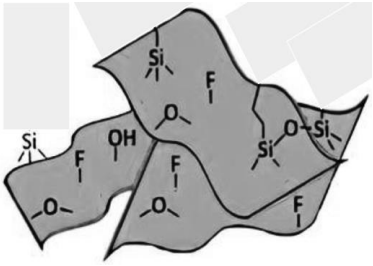
MXene оңай реттелетін беткі химиялық құрамға ие, ол негізінен гидроксил (-OH), фторид (–F) және оксид (- O) ұштары сияқты MAX фазаларын қышқылмен өңдеу кезінде пайда болатын функционалды топтармен анықталады [18]. Бұл топтар су ортасындағы коллоидтық тұрақтылық үшін шешуші ғана емес, сонымен қатар беттің кейінгі модификацияларында және оны қолдануда шешуші рөл атқарады. –OH және –O топтарының болуы гидрофильділікті арттырады және әртүрлі компоненттермен, соның ішінде кремний негізіндегі қосылыстармен сутектік байланыстар мен электростатикалық өзара әрекеттесуді қамтамасыз етеді [19]. Бұл MXenes-ді тұрақтылықты арттыру және олардың электрохимиялық қасиеттерін бейімдеу үшін кремний диоксиді (SiO2), кремний субоксиді (SiOx) немесе элементар кремний функционализациясына перспективалы етеді [15].

Алайда, модификациялауға мүмкіндік беретін бірдей беткі химия да өзгерістерді тотығу бұзылуына өте сезімтал етеді. –OH және –F топтамалары, әсіресе ашық ауада немесе су ортасында болғанда, өтпелі металл қабаттарының (мысалы, Ti-дің TiO_2-ге дейін) тотығуын жеделдетуі мүмкін, бұл өз кезегінде өткізгіштік пен құрылымдық тұтастыққа зиян келтіреді [20].

Кремний негізіндегі модификация процестері кезінде, әсіресе золь-гель немесе гидротермиялық әдістерді қамтитындар, бұл осалдық температураның жоғарылауымен, қышқыл/сілтілік жағдайлармен немесе су мен оттегінің ұзақ уақыт әсер етуімен нашарлайды. Осылайша, модификация кезінде MXene функционалдығын сақтау үшін технологиялық параметрлерді дәл бақылау және тұрақтандырғыш агенттерді немесе қорғаныс жабындарын пайдалану қажет [21].

Сонымен қатар, MXene-нің соңғы топтары мен кремний қосылыстары арасындағы химиялық үйлесімділік гибридті құрылымның түзілу сәттілігін анықтайды. Зерттеулер көрсеткендей, –O және –O–ға бай MXenes силанол топтарымен (Si-OH) әрекеттесіп, кремнеземді жабындар түзеді, нәтижесінде Si–O–Ti қатты фазааралық қосылыс пайда болады [22]. Мұндай өзара әрекеттесулер энергияны сақтау, сенсорлық және қоршаған ортаға қолдану үшін берік MXene-silicon композиттерін жасау үшін пайдалы. Осылайша, Mxene бетінің реактивтілігін түсіну және бақылау кремний негізіндегі функционализация стратегияларын әзірлеу үшін өте маңызды.

1-суретте MXene бетіндегі функционалдық топтардың (–OH, –F, –O) болуын, олардың SiO_2, SiOx және элементтік Si сияқты кремний түрлеріне қатысты реактивтілігін және модификация процесінде тотығуға байланысты мәселелерді бейнелейтін MXene бетінің химиялық құрамының схемалық бейнесі көрсетілген. Жоғарғы контур гибридті материалды қалыптастыру үшін ықтимал өзара әрекеттесулерді көрсетеді, ал төменгі контур бетті өзгерту кезінде пайда болатын тотығуға байланысты деградацияны көрсетеді.



Сурет 1 – Mxene бетінің химиялық құрамы және реактивтілігі.
Сурет [23] бойынша алынып, бейімделген

3. Кремний негізіндегі модификация стратегиялары

3.1. SiO_2 жабыны

Кремний диоксиді (SiO_2) жабындары бетті пассивтеу және тотығудың алдын алу қабілетіне байланысты полимерлердің бетін өзгертудің ең көп қолданылатын тәсілдерінің бірі болып табылады. Синтездеудің ең тиімді әдістеріне алкоголь немесе су ортасында тетраэтилортосиликат (TEOS) сияқты кремний прекурсорларының гидролизі мен конденсациясына негізделген золь-гель әдістері мен штепсель әдістері жатады [24]. Бұл әдістер жабынның қалыңдығын, кеуектілігін және бөлшектердің морфологиясын дәл бақылауды қамтамасыз етеді, бұл mxene бетінде кремнийдің біркелкі қабаттарын қалыптастыруға мүмкіндік береді.

SiO_2–мен қапталған MXenes нәтижесінде су мен оттегінің реактивті беттік топтарға (–OH, –F, - O) жетуіне жол бермейтін кремний диоксиді қабатының тосқауыл қасиеттеріне байланысты экологиялық және химиялық тұрақтылық айтарлықтай жақсарды. Сонымен қатар, Бейорганикалық кремний диоксиді қабықшасы MXenes–тің ішкі электр өткізгіштігіне айтарлықтай әсер етпейді, әсіресе ультра жұқа қабат ретінде қолданылғанда және силанол топтарының (Si-OH) көп болуы арқылы одан әрі функционализацияға ықпал етуі мүмкін [25].

Мұндай SiO_2 модификациялары әсіресе электрохимиялық энергияны сақтау, фотокатализ және мембраналық технологиялар сияқты қолданбаларда тиімді, мұнда тотығу бұзылыстары немесе бетінің ластануы проблемасы туындайды. Сонымен қатар, кремнийлі жабындардың механикалық беріктігі Mxene негізіндегі наноқұрылымдардың қатал жағдайларда беріктігін арттырады, олардың практикалық қолданылуын кеңейтеді.

3.2. SiOx қабатын қалыптастыру

Сызықтық беттерде субстехиометриялық кремний оксиді қабаттарының (SiOx, мұндағы $x < 2$) түзілуі атомдық дәлдікпен бет қасиеттерін жасау үшін әмбебап фрезерлік станокты қамтамасыз етеді. Осы мақсатта әдетте атомдық қабатты тұндыру (ALD), газ фазасынан

химиялық тұндыру (CVD) және термиялық тотығу сияқты әдістер қолданылады [26]. Бұл әдістер реттелетін қалыңдығы мен тотығу дәрежесі бар конформды ультра жұқа оксидті пленкаларды қалыптастыруға мүмкіндік береді, осылайша Mxene құрылымы мен электр өткізгіштігін сақтай отырып, фазалық интерфейс сипаттамаларын бейімдейді [27].

ALD – әсіресе, өздігінен шектелетін беттік реакциялар есебінен SiOx қабатының өсуін нанометрлік дәлдікпен бақылауға мүмкіндік беретін тиімді әдіс. Бұл тәсіл жоғары беттік ауданы бар MXene үлпектерінде де біркелкі жабынды мен жоғары қайта жаңғыртылымдылықты (репродуктивтілікті) қамтамасыз етеді. Екінші жағынан, CVD әдісі масштабтауға және жабындының жоғары түсу жылдамдығына қолайлы, алайда ол көбіне MXene деградациясының алдын алу үшін мұқият оңтайландыруды талап ететін жоғары өңдеу температураларын қажет етеді [28]. Ал термиялық тотығу – қарапайым және арзан процесс болғанымен, көбінесе беткі модификациямен шектеледі және егер қатаң бақылауға алынбаса, біркелкі емес оксид қабаттарының түзілуіне әкелуі мүмкін.

SiOx қабаты диффузиялық тосқауыл және беттік пассивті қабат ретінде қызмет атқарады, бұл оның экологиялық тұрақтылығын арттырып, қоршаған ортадағы немесе жоғары ылғалдылық жағдайындағы тотығу жылдамдығын төмендетеді. Сонымен қатар, SiOx-тағы ішінара тотығу дәрежесі интерфейстің электрондық қасиеттері мен химиялық реактивтілігін дәл реттеуге мүмкіндік береді, бұл оны аккумулятор электродтарында, мембраналық бөлуде және сенсорлық технологияларда кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. SiOx қабатының қалыңдығын және тотығу күйін реттеу мүмкіндігі MXene–SiOx гибридтерін жетілдірілген көпфункциялы жүйелерге тиімді біріктіру үшін аса маңызды [29].

Атомдық қабатты тұндыру (ALD), газ фазасының химиялық тұндыру (CVD) және термиялық тотығу әдістерінің көмегімен қозғалмалы субстратқа SiOx қабатын жабудың схемалық көрінісі (Сурет 2). Суретте SiOx-тың конформды бейімделетін жабын (conformal coating) түзілу процесі көрсетілген, сондай-ақ қабат қалыңдығын және тотығу дәрежесін дәл бақылау мүмкіндіктері бейнеленген. Бұл теңшелетін интерфейс тұрақтылығын арттырып, MXene негізіндегі озық жүйелерге функционалды интеграция жасауға мүмкіндік береді.

Сурет 2 – ALD, CVD және термиялық тотығу арқылы қабатты қалыптастыру

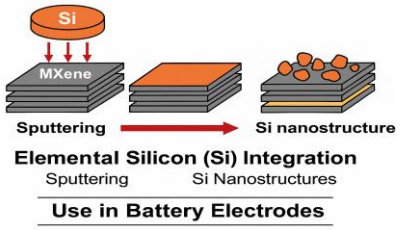
3.3. Қарапайым кремний интеграциясы (Si)

Қарапайым кремнийді (Si) MXene архитектурасына біріктіру – бұл, әсіресе литий-ионды және натрий-ионды аккумуляторлар сияқты энергия сақтау жүйелері үшін жоғары өнімді материалдарды әзірлеуге бағытталған стратегиялық қадам. Жоғары теориялық сыйымдылығы (~4200 мА·сағ·г$^{-1}$) арқасында кремний ұзақ уақыт бойы перспективалы анодтық материал ретінде қарастырылып келеді. Алайда, литияция кезінде орын алатын айтарлықтай көлемдік кеңею мен төмен электр өткізгіштік секілді кемшіліктер оның практикалық қолданылуын шектейді. Кремнийді MXene-мен гибридтеу – бұл аталған кемшіліктерді еңсерудің синергетикалық тәсілі, мұнда MXene-нің механикалық тұрақтылығы, жоғары электрөткізгіштігі және құрылымдық бейімділігі пайдаланылады.

Кремнийді интеграциялау үшін екі негізгі әдіс қолданылады: физикалық бүрку және кремнийдің наноқұрылымдарын енгізу (мысалы, нанобөлшектер, наноөткізгіштер немесе жұқа қабықшалар). Магнетрондық бүрку сияқты әдістер арқылы кремнийдің біртекті қабаттары MXene бетіне тікелей жағылады, мықты интерфейстер қалыптастырады және электрон тасымалы жолдарын жақсартады. Сонымен қатар, Si наноқұрылымдарын in situ өсіру, ерітінді негізіндегі тұндыру немесе механикалық араластыру арқылы MXene-ге ендіру сыйымдылықтың сақталуын жақсартады және заряд/разряд циклдары кезінде көлемдік деформацияны азайтады [30].

Полимерлі композиттер электрохимиялық циклдау кезінде тұрақтылықты арттырады, жоғары электрөткізгіштік қамтамасыз етеді және құрылымдық деформацияға төзімділігін күшейтеді. Сонымен қатар, кремний мен MXene беткі топтары (-OH, –F, –O) арасындағы фазааралық байланыс электрондардың интерфейс арқылы адгезиясы мен тасымалдауын жақсартады, ал MXene матрицасы иілгіш тірек ретінде қызмет етеді. Бұл гибридтік жүйелер бір ұялы (Li-ion) батареяларда перспективалы нәтиже көрсетті және қазіргі уақытта суперконденсаторлар, гибридті сыйымдылық жүйелері және қатты күйдегі батареяларда зерттеуге алынуда.

3-суретте көрсетілген схема MXene құрылымдарына қарапайым кремнийді енгізудің екі негізгі тәсілін бейнелейді: (1) MXene бетіне кремнийдің біртекті қабаты қолданылатын бүрку және (2) нанобөлшектер немесе кластерлер сияқты кремний наноқұрылымдарын енгізу. Бұл гибридті материалдар кремнийдің жоғары сыйымдылығын MXene өткізгіштігі мен икемділігімен үйлестіру арқылы электрохимиялық өнімділікті жақсартады, бұл циклдің тұрақтылығы мен құрылымдық тұтастығымен жақсартылған аккумуляторлық электрод архитектурасын пайдалануға мүмкіндік береді [31].



Сурет 3 – Батарея электродтарын жасау үшін MXene-ге қарапайым кремний (Si) интеграциясы

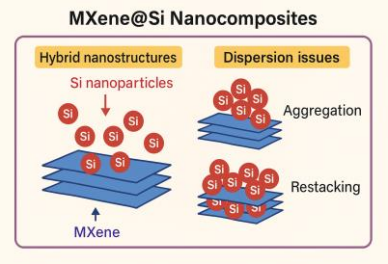
3.4. MXene @ Si нанокомпозиттері

Si@MXene нанокомпозиттері – жоғары теориялық сыйымдылыққа ие кремнийді MXene материалдарының электр өткізгіштігімен, механикалық икемділігімен және қабатты морфологиясымен біріктіретін гибридті материалдардың жаңа буыны болып табылады. Бұл гибридті наноқұрылымдар, әдетте, кремнийді (нанобөлшектер, наноөткізгіштер немесе жұқа қабықшалар түрінде) MXene наноқабаттарымен физикалық араластыру немесе химиялық әдістермен біріктіру арқылы синтезделеді. Мұндай әдістер интерфейстің тығыз байланысын қамтамасыз етіп, синергетикалық электрохимиялық қасиеттерге қол жеткізуге мүмкіндік береді – бұл энергияны сақтау құрылғыларының өнімділігін арттырады. [32].

Интеграция стратегиясы көбінесе әр компоненттің шектеулерін жеңілдетуге бағытталған: MXene салыстырмалы түрде жоғары өткізгіш матрица мен көлем кеңеюін буферлеуші рөл атқарып, кремнийдің литиймен литизация кезінде едәуір көлемдік өзгеруін бақылауда ұстауға мүмкіндік береді, ал кремний артығырақ заряд сақтау сыйымдылығын қамтамасыз етеді. Дегенмен, MXene матрицасында кремнийдің біркелкі таралуын қамтамасыз ету маңызды мәселе болып қала береді. Кремний бөлшектері ван-дер-Ваальс күштері немесе фазааралық үйлесімділіктің төмендігі нәтижесінде MXene аралық қабаттарында агрегацияға бейім болып, электрондық және иондық тасымалдарға кедергі жасап, ұзақ циклдер кезінде механикалық тұрақсыздық туғызуы мүмкін [33].

Осы дисперсиялық мәселелерді шешу үшін әртүрлі техникалық стратегиялар ұсынылды, соның ішінде MXenes бетінің функционализациясы, полимерлі байланыстырғыштарды пайдалану және MXene үлпектерінде Si эмбриондарының біртекті түзілуіне ықпал ететін *in situ* өсіру әдістері. Алынған нанокомпозиттер жылдамдық өнімділігін, цикл тұрақтылығын және механикалық тұрақтылықты жақсартады, бұл оларды литий-ионды және натрий-ионды аккумуляторлар, сондай-ақ икемді электроника және гибридті сыйымдылық жүйелері сияқты жаңа буын энергия сақтау құрылғылары үшін тартымды етеді.

Mxene@Si нанокомпозиттерінің схемалық иллюстрациясы кремний нанобөлшектерін (Si) MXene қабатты парақтарымен біріктіру арқылы жасалған гибридті наноқұрылымды көрсетеді (Сурет 4). Сол жақ панель mxene матрицасында кремнийдің тамаша дисперсиясын көрсетеді, ал оң жақ панель иондардың тасымалдануына және механикалық тұрақтылыққа теріс әсер етуі мүмкін кремний бөлшектерінің агрегациясы мен қайта бөлінуін қоса алғанда, жалпы мәселелерді көрсетеді. Тиімді дисперсиялық стратегиялар MXene–si композиттерінің электрохимиялық өнімділігін оңтайландыру үшін өте маңызды.



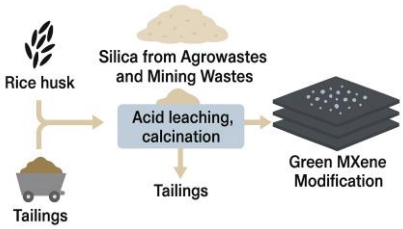
Сурет 4 – Mxene@Si нанокомпозиттік құрылымдары және олардың дисперсиялық мәселелері

3.5. Ауыл шаруашылығы және тау-кен қалдықтарынан алынған кремний диоксиді

Ауыл шаруашылығы мен тау-кен қалдықтарынан кремний диоксидін (sio_2) алу MXene бетін өзгерту үшін функционалды материалдарды алудың экологиялық және тұрақты әдісін ұсынады. Күріш қабығы, қант қамысы торты және бидай сабаны сияқты биомасса қалдықтары, сондай-ақ құйрықтар мен көмір күлі сияқты тау-кен өнімдерінің жанама өнімдері кремний диоксидіне бай және қымбат емес және мол ресурстар болып табылады. Қалдықтардан алынған бұл көздер қоршаған ортаның ластануын азайтып қана қоймайды, сонымен қатар материалтану саласындағы айналмалы экономиканың дамуына ықпал етеді [34].

Қалдықтарды өңдеудің типтік әдісі – алдымен HCl немесе HNO_3 көмегімен қышқылды шаймалау арқылы металдар мен сілтілі компоненттерді алып тастау. Содан соң биомасса органикалық құрамынан азатталып, аморфтық немесе жартылай кристалды SiO_2-ге айналдыру үшін 500-800 °C температурада кальцинацияланады. Кальцинация арқылы алынған кремнеземнің беткі ауданы, кеуектілігі және морфологиясы оңтайландырылуы мүмкін, бұл оны MXene гибридті жүйелерінде қолдануға жарамды етеді. Мысалы, күріш қабығынан алынған биогенді SiO_2 MXene-композиттерінде қабықша материалы немесе қабат аралық төсем ретінде пайдаланылып, тотығуға беріктігін және бет функционалдығын арттыра алады [35].

MXene құрылымына енгізілгенде, бұл "жасыл" SiO_2 пішіні мен қолдану тәсіліне байланысты тосқауыл қабаты, құрылымдық тірек немесе электрохимиялық модификатор қызметін атқара алады (Сурет 5). Сонымен қатар, биогенді кремний әдеттегі синтетикалық SiO_2-ге қарағанда ерекше микрокұрылымдық қасиеттерге ие (мысалы, жоғары дисперсия, біркелкі емес кеуектілік), бұл оны энергетика, катализ және суды тазарту сияқты қолдану салаларында артықшылықты етеді. Бұл тәсіл жасыл химия және тұрақты нанотехнология қағидаттарына сәйкес келеді [36].



Сурет 5 – «Жасыл» Mxene-мен модификациялау үшін ауыл шаруашылығы мен тау-кен қалдықтарынан кремний диоксидін алу

4. Модификацияның жаңа және гибридті әдістері

Кремний негізіндегі дәстүрлі стратегиялардан бөлек, MXene материалдарының әмбүрлігін, тұрақтылығын және функционалдылығын арттыру үшін жаңа гибридті модификация әдістері белсенді зерттелуде. Оларға силан байланыстырушыларды енгізу, органикалық-бейорганикалық будандар қолдану, биосинтез әдістері, сондай-ақ басқа оксидтер мен металдармен легирлеу кіреді. Әр тәсіл – ерекше құрылымдық және фазааралық артықшылықтарды қамтамасыз етеді [37].

3-аминопропилтриэтоксисилан (APTES) және глицидоксипропилтриметоксисилан (GPTMS) сияқты силан байланыстырғыш агенттер –OH немесе =O-терминалдары бар

беттерге ковалентті байланыстар арқылы бекініп, полимерлер мен органикалық функционалды фрагменттер арасында күшті молекулалық көпірлер түзеді. Бұл интерфейс тұрақтылығын, адгезияны және химиялық теңшелімдікті арттырып, мембраналар, биосенсорлар мен композиттік пленкалар үшін жаңа органикалық – бейорганикалық гибридті материалдарды жасауға мүмкіндік береді [38].

Биосинтез әдістері табиғи материалдар негізінде экологиялық таза және тиімді бет модификациясын қамтамасыз етеді – бұл өсімдік сығындыларын, аминқышқылдарын немесе биополимерлерді тұрақтандырғыш немесе үлгі ретінде пайдалануға негізделген. Бұл тәсілдер уытсыз, биоактивті немесе редокс-топтарымен жабдықталған MXene құрылымдарын алуға мүмкіндік беріп, биомедициналық және экологиялық қолданбалар үшін тартымды шешімдер ұсынады [39].

Сонымен қатар, MXene материалын Al_2O_3, TiO_2, ZnO сияқты оксидтер және Fe, Cu тәрізді өтпелі металдармен легирлеу әдістеріне қызығушылық артып келеді. Бұл модификациялар электрон құрылымын, беттік зарядты және химиялық функционалдылықты өзгертіп, MXene-дің фотокаталитикалық қасиеттерін, магнетизмін, энергия сақтау және сенсорлық қабілеттерін жетілдіре алады. Легирленген компоненттер мен MXene құрылымдары арасындағы синергия өткізгіштік пен каталитикалық белсенділікті арттырып, қолданым ауқымын кеңейтеді [40].

Бұл гибридті модификация әдістері жаңа буын смарт материалдар мен нанотехнологиялар трендтеріне сәйкес келетін көп функциялы MXene материалдарын жасауға жол ашады.

5. Кремний модификацияланған полимерлерді қолдану

Кремний негізіндегі MXenes модификациясы химиялық тұрақтылықты, беттік белсенділікті және функционалдық теңшелімді жақсарту арқылы олардың әртүрлі қолданбаларда тиімділігін айтарлықтай арттырады. Келесі бөлімдерде кремний модификацияланған MXenes айтарлықтай әсер еткен негізгі аймақтар берілген:

5.1. Қуат сақтау құрылғылары: батареялар мен суперконденсаторлар

MXene-SiO_2 және MXene-Si композиттері литий-ионды, натрий-ионды және мырыш-ионды аккумуляторлар үшін, сондай-ақ суперконденсаторларда қолдануға керемет потенциалға ие. SiO_2 немесе қарапайым кремнийдің қосылуы көлемдік өзгерістерді буферлеп, циклдік тұрақтылықты жақсартады және ион диффузия жолдарын жеңілдетіп, MXene қабаттарының реорганизациясын азайтады. Қысқаша айтқанда, Si модификацияланған MXene анодтары өткізгіш қабаттар мен жоғары сыйымдылықты Si компонентінің синергетикалық өзара әрекетіне негізделген, бұл сыйымдылықты сақтап қалуға, заряд-разряд жылдамдығын арттыруға және ұзақ мерзімді қолдануға мүмкіндік береді [41].

5.2. Фотокатализ

SiO_2 қабаттарын әртүрлі катализдік беттерге орналастыру жарық сіңірілімін, жолақ спектрін және заряд бөліну тиімділігін жақсартады. Кремнеземді қабық немесе матрица – каталитикалық орталықтарды тұрақтандыруға негіз болып, жарықтың шашырауын немесе тураланууын реттей отырып, фотокаталитикалық белсенділікті арттырады. Мұндай композициялар фотодеградация, сутек бөлу реакциялары (HER) және CO_2 төмендету сияқты таза энергетика мен қоршаған ортаны қалпына келтіруде өзекті [42].

5.3. Сенсорлық қолданбалар

Si-модификацияланған MXene сенсорлар үшін селективтілік, беттік тұрақтылық және сигнал күшейту қасиеттерін жақсартады. SiO_2 қабаттары зонд молекулаларының бекінуіне жер ұсынса, MXene жоғары өткізгіштігі сигналды жедел тасымалдауды қамтамасыз етеді. Мұндай жүйелер металл иондарды, биомолекулаларды және ұшпа органикалық қосылыстарды жоғары сезімталдықпен және қайталанбалы түрде анықтай алады [43].

5.4. Суды тазарту

Суды тазарту кезінде Si-модификацияланған MXene жоғары төзімділік пен структуралық тұрақтылықпен ерекшеленеді. SiO_2 қабаты тотығудан қорғайды, ал белсенді SiO_2 беті ауыр металдар, бояғыштар және фармацевтикалық қалдықтарды тиімді сіңіруге және каталитикалық ыдыратуға мүмкіндік береді. Биогенді “жасыл” SiO_2 экологиялық таза сүзгі материалы ретінде масштабталатын жүйелер үшін қолданылады [44].

6. Болашақ мәселелері мен болашағы

Кремний негізіндегі MXene модификациясындағы айтарлықтай жетістіктерге қарамастан, олардың коммерциялық өміршеңдігі мен кеңірек қолданылуын қамтамасыз ету үшін шешілуі керек бірқатар маңызды мәселелер бар. Бұл шектеулер техникалық, экологиялық және әдістемелік аспектілерді қамтиды және оларды жеңу үшін үйлестірілген зерттеу жұмыстары қажет.

6.1. Масштабтау және репродуктивтілік

Кремниймен модификацияланған полимерлі MXene композиттерін синтездеу көбінесе көп сатылы, уақытты қажет ететін процестерді (мысалы, золь-гель, атомдық қабатты тұндыру, гидротермиялық әдістер) талап етеді, бұл оларды өндірістік масштабына шығару қиынға соғады. Сонымен қатар, прекурсорлардың сапасы, беткі қоршаған жағдайлар және дисперсияны бақылаудың қиындығы партиядан партияға тұрақсыздық әкеледі. Зертханалық технологияларды өнеркәсіптік деңгейге аудару үшін үздіксіз синтез және стандартталған өндірістік хаттамалар мен платформа әзірлеу қажет [45].

6.2. Қоршаған ортаны қорғау және денсаулық туралы ойлар

HF, TEOS және ұшпа органосиландар сияқты улы прекурсорларды пайдалану қауіпсіздікке және кейбір модификация әдістерінің тұрақтылығына қатысты алаңдаушылық туғызады. Сонымен қатар, MXene-Si композиттерінің биоүйлесімділігі мен қоршаған ортаға әсері жайлы мәліметтер шектеулі, әсіресе су тазартуда немесе биомедициналық салаларда қолданылған жағдайда. Болашақ зерттеулер терісі, биоэнергияға негізделген көбірек экологиялық таза жолдарға басымдық беруі, сондай-ақ еріткішсіз әдістерді дамытуы қажет [46].

6.3. Болашақ зерттеулерге арналған ұсыныстар

MXene беткі топтары мен кремний бөлшектерінің өзара әрекеттесуін атомдық деңгейде зерттеу есептеу әдістері мен тәжірибелік сипаттамалар негізінде жүргізіледі. Бұл өзара әрекеттесу механикалық және атомаралық байланыстар тұрғысынан қарастырылады. Сонымен қатар, нақты қолдану жағдайларында (мысалы, су жүйелері мен жоғары кернеу циклдері кезінде) ұзақ мерзімді тұрақтылық термиялық, химиялық және электрохимиялық жағынан бағаланады. Бұдан бөлек, MXene-ді бірнеше функционалды компоненттермен (мысалы, металл оксидтері немесе өткізгіш полимерлермен SiO_2) біріктіру арқылы жаңа гибридті функционалды жүйелер құрылып, олардың жұмыс сипаттамалары жақсара түседі. Сондай-ақ, кремний негізіндегі MXene модификациясының өмірлік циклін (LCA) талдау арқылы энергия шығындары, қолданылған материалдар және шығарындылар көлемі сандық түрде бағаланады, бұл экодизайнды тиімді басқаруға мүмкіндік береді [47]. Аталған зерттеу бағыттарына қатысты негізгі ақпараттар 2-кестеде көрсетілген.

Кесте 2 – Mxenes кремниймен модификацияланған проблемалар мен даму бағыттарының қысқаша сипаттамасы

Санат	Мәселелер	Болашаққа арналған бағыттар/ұсыныстар
Масштабтау және репродуктивтілік	Күрделі көп сатылы синтез	Үздіксіз / автоматтандырылған синтезді дамыту
Қоршаған ортаны қорғау және адам денсаулығы	Партиядан партияға төмен консистенция	Хаттамалар мен есептілікті стандарттау
Тұрақтылық және беріктік	Қауіпті химиялық заттарды қолдану (HF, TEOS)	Экологиялық синтезге басымдық беру (мысалы, биогенді кремний диоксиді)
Механизмдерді түсіну	Уыттылық туралы деректердің болмауы	Қоршаған ортаға әсер ету және қауіпсіздік бойынша зерттеулер жүргізу
Функционалды интеграция	Ылғалды, термиялық немесе электрохимиялық жағдайларда ыдырау	Нақты жағдайларда ұзақ мерзімді тұрақтылық сынақтарын жүргізу
Тұрақтылық және өмірлік цикл	Фазааралық химия және кремний мен фенолдың өзара әрекеттесуі туралы шектеулі Білім	*In situ*/operandi әдістерін қолданыңыз

7. Қорытынды

Бұл шолуда кремний негізіндегі MXene модификацияларының қазіргі жай-күйі мен болашақ перспективалары жан-жақты талданды. Әсіресе SiO_2 жабындары мен қабаттары, ауыл шаруашылығы және тау-кен қалдықтарынан алынатын қарапайым кремний, сондай-ақ экологиялық таза кремний диоксидін қолдану стратегияларына ерекше назар аударылды. Бұл модификациялар бастапқы MXene-ге тән негізгі шектеулер – тотығуға бейімділік, беткі құрылымның тұрақсыздығы және шектеулі құрылымдық беріктік – сияқты мәселелерді еңсеруде елеулі әлеуетке ие екені көрсетілді.

Кремний компоненттерін енгізу бірнеше функционалдық артықшылықтар береді:

– SiO_2 жабындары пассивті қорғаныс пен химиялық тұрақтылықты қамтамасыз етеді;

– SiO_2 қабаттары интерфейсті дәл басқаруға және электрондар мен иондардың тасымалдануын тиімді реттеуге мүмкіндік береді;

– Қарапайым кремний аккумуляторларда жоғары теориялық сыйымдылықты қамтамасыз етеді;

– Биомассадан алынған кремний диоксиді экологиялық таза материалдарды дамытуда инновациялық шешімдер ұсынады.

MXene-ді кремний негізіндегі компоненттермен будандастыру нәтижесінде энергия сақтау өнімділігі, фотокаталитикалық белсенділік, химиялық сенсорлық сезімталдық және суды тазарту тиімділігі айтарлықтай артқаны байқалды. Бұл нәтижелер мұндай композиттердің ғылыми және технологиялық маңызын растап қана қоймай, сонымен қатар көпфункционалды жаңа буын наноматериалдарын жасауға берік негіз қалайды.

Алайда масштабтауға жарамдылық, экологиялық қауіпсіздік және құрылымдық қайталанушылық сияқты маңызды мәселелер әлі де өзекті. Бұл мәселелерді шешу үшін «жасыл химия» қағидаттарына негізделген тәсілдер, жергілікті сипаттамаларды нақтылау, өмірлік циклді бағалау және есептеу арқылы материалдар жобалау бағыттарында кешенді зерттеу жұмыстары қажет.

Осылайша, кремниймен модификацияланған MXene материалдары энергетика, экология және озық нанотехнологиялар салаларында зор әлеуетке ие, жоғары беріктікке ие гибридті наноқұрылымдар класы ретінде ерекшеленеді. Синтездің балама жолдарын, биогенді шикізатты және көпкомпонентті интеграцияны зерттеу арқылы MXene негізіндегі жүйелердің трансформациялық мүмкіндіктері одан әрі ашылуы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі

1. Anasori B. 2D Metal Carbides and Nitrides (MXenes) for Energy Storage / B. Anasori, M.R. Lukatskaya, Y. Gogotsi // Nature Reviews Materials. – 2017. – № 2. https://doi.org/10.1038/natrevmats.2016.98.

2. Two-Dimensional Nanocrystals Produced by Exfoliation of Ti3alc2 / M. Naguib et al // Advanced Materials. – 2011. – № 23. – P. 4248-4253, https://doi.org/10.1002/adma.201102306.

3. A Review on MXene and Its' Composites for Electromagnetic Interference (EMI) Shielding Applications / R. Verma et al // Carbon. – 2023. – № 208. – P. 170-190. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2023.03.050.

4. A Review on MXene Synthesis, Stability, and Photocatalytic Applications / G. Murali et al // ACS Nano. – 2022. – № 16. – P. 13370-13429. https://doi.org/10.1021/acsnano.2c04750.

5. Two-Dimensional Transition Metal Carbides and Nitrides (MXenes) Based Biosensing and Molecular Imaging / H. Liu et al // Nanophotonics. – 2022. – № 11. – P. 4977-4993. https://doi.org/10.1515/nanoph-2022-0550.

6. MXene Materials for Designing Advanced Separation Membranes / H.E. Karahan et al // Advanced Materials. – 2020. – № 32. https://doi.org/10.1002/adma.201906697.

7. Gogotsi Y. The Rise of MXenes. / Y. Gogotsi, B. Anasori // ACS Nano. – 2019. – № 13. – P. 8491-8494. https://doi.org/10.1021/acsnano.9b06394.

8. Oxidation Stability of Colloidal Two-Dimensional Titanium Carbides (MXenes) / C.J. Zhang et al // Chemistry of Materials. – 2017. – № 29. – P. 4848-4856. https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.7b00745.

9. Hollow MXene Spheres and 3D Macroporous MXene Frameworks for Na-Ion Storage / M. Zhao et al // Advanced Materials. – 2017. – № 29. https://doi.org/10.1002/adma.201702410.

10. Guidelines for Synthesis and Processing of Two-Dimensional Titanium Carbide (Ti3C2Tx MXene) / M. Alhabeb et al // In MXenes; Jenny Stanford Publishing: New York, 2023. – P. 415-449.

11. MXene Films: Scalable Manufacturing of Free-Standing, Strong Ti3C2Tx MXene Films with

Outstanding Conductivity (Adv. Mater. 23/2020) / J. Zhang et al // Advanced Materials. – 2020. – № 32. https://doi.org/10.1002/adma.202070180.
12. Enhanced Cycling Performance of Si-MXene Nanohybrids as Anode for High Performance Lithium Ion Batteries / X. Zhu et al // Chemical Engineering Journal. – 2019. – № 378. – P. 122212. https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122212.
13. Three-dimensional Structured MXene/SiO2 for Improving the Interfacial Properties of Composites by Self-assembly Strategy / J. Guo et al // Polymer Composites. – 2021. – № 43. – P. 84-93. https://doi.org/10.1002/pc.26358.
14. Burgeoning Silicon/MXene Nanocomposites for Lithium Ion Batteries: A Review / P. Zhang et al // Advanced Functional Materials. – 2024. – № 34. https://doi.org/10.1002/adfm.202402307.
15. Three-dimensional Structured MXene/SiO2 for Improving the Interfacial Properties of Composites by Self-assembly Strategy / J. Guo et al // Polymer Composites. – № 43. – P. 84-93. https://doi.org/10.1002/pc.26358.
16. Design of PDMS/SiO2@MXene Composites with «Floatable Interlayer» Structure for the Electromagnetic Shielding Behavior Improvement / Y. Duan et al // Chemical Engineering Journal. – 2023. – № 461. – P. 141853. https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.141853.
17. Ultralong Stability of Ti3C2Tx-MXene Dispersion Through Synergistic Regulation of Storage Environment and Defect Capping with Tris-HCl Buffering / J. Tan et al // Small Methods. – 2024. https://doi.org/10.1002/smtd.202301689.
18. MXene Hydrogels: Fundamentals and Applications / Y.-Z. Zhang et al // Chemical Society Reviews. – 2020. – № 49. – P. 7229-7251. https://doi.org/10.1039/d0cs00022a.
19. MXene Printing and Patterned Coating for Device Applications / Y. Zhang et al // Advanced Materials. – 2020. – № 32. https://doi.org/10.1002/adma.201908486.
20. Applications of 2D MXenes in Energy Conversion and Storage Systems / J. Pang et al // Chemical Society Reviews. – 2019. – № 48. – P. 72-133. https://doi.org/10.1039/c8cs00324f.
21. Highly Electrically Conductive Three-Dimensional Ti3C2Tx MXene/Reduced Graphene Oxide Hybrid Aerogels with Excellent Electromagnetic Interference Shielding Performances / S. Zhao et al // ACS Nano. – 2018. – № 12. – P. 11193-11202. https://doi.org/10.1021/acsnano.8b05739.
22. Geng X. Application of MXene-Based Materials for Cathode in Lithium-Sulfur Batteries / X. Geng, L. Yang, P. Song // Chemistry – A European Journal. – 2024. – № 30. https://doi.org/10.1002/chem.202303451.
23. Mozafari M. Surface Functionalization of MXenes // M. Mozafari, M. Soroush // Materials Advances. – 2021. – № 2. – P. 7277-7307. https://doi.org/10.1039/d1ma00625h.
24. A Review of Porous Carbons Produced by Template Methods for Supercapacitor Applications / W. Zhang et al // New Carbon Materials. – 2021. – № 36. – P. 69-81. https://doi.org/10.1016/s1872-5805(21)60005-7.
25. Jiang T. Enhanced Performance of Silicon Negative Electrodes Composited with Titanium Carbide Based MXenes for Lithium-Ion Batteries / T. Jiang, H. Yang, G.Z. Chen // Nanoenergy Advances. – 2022. – № 2. – P. 165-196. https://doi.org/10.3390/nanoenergyadv2020007.
26. Solution Reactivity Studies for Identification of Promising New ALD and Pulsed CVD Reaction Chemistries / B. Vidjayacoumar et al // ECS Transactions. – 2013. – № 50. – P. 53-66. https://doi.org/10.1149/05013.0053ecst.
27. Stoldt C.R. Ultra-Thin Film Encapsulation Processes for Micro-Electro-Mechanical Devices and Systems / C.R. Stoldt, V.M. Bright // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2006. – № 39. – P. R163-R170. https://doi.org/10.1088/0022-3727/39/9/r01.
28. Shielding 2D MXenes against Oxidative Degradation: Recent Advances, Factors and Preventive Measures / S. Kumar et al // Journal of Materials Chemistry C. – 2024. – № 12. – P. 8243-8281. https://doi.org/10.1039/d4tc00884g.
29. MXene-Coated Ion-Selective Electrode Sensors for Highly Stable and Selective Lithium Dynamics Monitoring / Y. Huang et al // Environmental Science & Technology. – 2023. – № 58. – P. 1359-1368. https://doi.org/10.1021/acs.est.3c06235.
30. Sustainable MXene Synthesis via Molten Salt Method and Nano-Silicon Coating for Enhanced Lithium-Ion Battery Performance / H. Kim et al // Molecules. – 2025. – № 30. – P. 812. https://doi.org/10.3390/molecules30040812.
31. A Flexible Si@C Electrode with Excellent Stability Employing an MXene as a Multifunctional Binder for Lithium-Ion Batteries / P. Zhang et al // ChemSusChem. – 2019. – № 13. – P. 1621-1628.

https://doi.org/10.1002/cssc.201901497.
32. Recent Progress in Si/Ti3C2Tx MXene Anode Materials for Lithium-Ion Batteries / X. Jiang et al // iScience. – 2024. – № 27. – P. 111217. https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.111217.
33. Performance and Application of Si/Ti3C2TX (MXene) Composites in Lithium Ion Battery / T. Jiang et al // Journal of Physics: Energy. – 2023. – № 5. – P. 014020. https://doi.org/10.1088/2515-7655/acb6b4.
34. Rice Husk Waste into Various Template-Engineered Mesoporous Silica Materials for Different Applications: A Comprehensive Review on Recent Developments / A.G. Gebretatios et al // Chemosphere. – 2023. – № 310. – P. 136843. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136843.
35. Sustainable Harnessing of SiO2 Nanoparticles from Rice Husks: A Review of the Best Synthesis and Applications / A. Rodriguez-Otero et al // Processes. – 2023. – № 11. – P. 3373. https://doi.org/10.3390/pr11123373.
36. Mesoporous Silica with an Alveolar Construction Obtained by Eco-Friendly Treatment of Rice Husks / M. Popova et al // Molecules. – 2024. – № 29. – P. 3540. https://doi.org/10.3390/molecules29153540.
37. Covalent Stabilization and Functionalization of MXene via Silylation Reactions with Improved Surface Properties / J. Ji et al // FlatChem. – 2019. – № 17. – P. 100128. https://doi.org/10.1016/j.flatc.2019.100128.
38. Surface Modification of a MXene by an Aminosilane Coupling Agent / H. Riazi et al // Advanced Materials Interfaces. – 2020. – № 7. https://doi.org/10.1002/admi.201902008.
39. Mozafari, M.; Soroush, M. Surface Functionalization of MXenes / M. Mozafari, M. Soroush // Materials Advances. – 2021. – № 2. – P. 7277-7307. https://doi.org/10.1039/d1ma00625h.
40. Interfacial Charge Transfer and Interaction in the MXene/TiO2 Heterostructures Available / L. Xu et al; online: https://arxiv.org/abs/2107.09180.
41. Recent Developments in Photocatalytic Water Treatment Technology with MXene Material: A Review / N. Xu et al // Chemical Engineering Journal Advances. – 2022. – № 12. – P. 100418. https://doi.org/10.1016/j.ceja.2022.100418.
42. MXene-Based Composite Photocatalysts for Efficient Degradation of Antibiotics in Wastewater / M. Akbari et al // Scientific Reports. – 2024. – № 14. https://doi.org/10.1038/s41598-024-83333-3.
43. MXene-Based Flexible Sensors: A Review / S. Hajian et al // Frontiers in Sensors. – 2022. – № 3. https://doi.org/10.3389/fsens.2022.1006749.
44. Recent Progress in MXene-Based Materials for Water Treatment Application: A Review / L. Song et al // Journal of Water Process Engineering. – 2025. – № 72. – P. 107640. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107640.
45. Engineering the next Generation of MXenes: Challenges and Strategies for Scalable Production and Enhanced Performance / W. Bao et al // Nanoscale. – 2025. – № 17. – P. 6204-6265. https://doi.org/10.1039/d4nr04560b.
46. Synthesis, Toxicity Assessment, Environmental and Biomedical Applications of MXenes: A Review / I.A. Vasyukova et al // Nanomaterials. – 2022. – № 12. – P. 1797. https://doi.org/10.3390/nano12111797.
47. MXenes for Sustainable Energy: A Comprehensive Review on Conservation and Storage Applications / M. Jussambayev et al // Carbon Trends. – 2025. – № 19. – P. 100471. https://doi.org/10.1016/j.cartre.2025.100471.

Алғыс. *Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылды (грант № BR24992873).*

М. Әліпұлы[1*], Қ. Асқарұлы[1], Қ. Тоштай[2], Н.Н. Нұрғалиев[3], С. Азат[1]
[1]Satbayev Univeristy,
050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22
[2]Казахский национальный университет имени Аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект Аль-Фараби, 71,
[3]Шәкәрім университет,
071410, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20А
*e-mail: mukhtaralipuly@gmail.com

МОДИФИКАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ MXENE ПОСРЕДСТВОМ ВВЕДЕНИЯ КРЕМНИЯ (SIO_2/SIOX/SI) РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ: РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СИНТЕЗА И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ

MXene – это перспективный класс двумерных карбидов и нитридов переходных металлов. Благодаря уникальному сочетанию таких свойств, как высокая электропроводность, большая удельная поверхность, гидрофильность и гибкость поверхностного состава, эти материалы вызывают широкий научный интерес. Такие характеристики делают MXene привлекательным для применения в системах хранения энергии, сенсорах, электрокатализе, фильтрации и очистке окружающей среды. Однако склонность к окислению и недостаточная долговременная стабильность являются важными ограничивающими факторами при их практическом использовании.

Для преодоления этих ограничений предлагаются модификации на основе кремния – в частности, использование Si, SiO_2 и SiOx – как эффективная стратегия повышения структурной стабильности MXene. В обзоре рассматриваются методы функционализации с использованием кремнийсодержащих компонентов, включая золь-гель синтез, метод Штёбера, химическое осаждение из газовой фазы (CVD), атомно-слоёвое осаждение (ALD) и методы напыления.

Модификация с использованием кремния повышает устойчивость к окислению, термическую стабильность, площадь поверхности и совместимость с композитами. Эти улучшенные свойства усиливают эффективность кремний-модифицированных MXene в литий- и алюминий-ионных аккумуляторах, суперконденсаторах, сенсорах и катализаторах. Кроме того, их фотокаталитические и адсорбционные способности позволяют использовать такие материалы в экологически значимых технологиях. Обзор также рассматривает устойчивые и масштабируемые методы интеграции MXene в многофункциональные системы будущего.

Ключевые слова: *MXene, диоксид кремния (SiO_2), поверхностная модификация, хранение энергии, очистка воды, фотокатализ.*

M. Alipuly[1*], K. Askaruly[1], K.Toshtay[2], N.N. Nurgaliyev[3], S. Azat[1]
[1]Satbayev Univeristy,
050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, 22 Satbayev street
[2]Al-Farabi Kazakh national university,
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi avenue, 71,
[3]Shakarim University,
071410, Republic of Kazakhstan, Semey, 20A Glinka street
*e-mail: mukhtaralipuly@gmail.com

MODIFICATION OF MXENE-BASED MATERIALS THROUGH THE INTRODUCTION OF SILICON (SIO_2/SIOX/SI) BY VARIOUS METHODS: DEVELOPMENT OF SYNTHESIS TECHNIQUES AND ALTERNATIVE SURFACE MODIFICATION STRATEGIES

MXene represents a promising class of two-dimensional carbides and nitrides of transition metals. Due to their unique combination of high electrical conductivity, large specific surface area, hydrophilicity, and tunable surface chemistry, they have attracted significant scientific interest. These properties enable the application of MXenes in energy storage systems, sensors, electrocatalysis, filtration, and environmental remediation. However, their susceptibility to oxidation and insufficient long-term stability remain major challenges for practical use.

To address these limitations, silicon-based modifications – specifically involving Si, SiO_2, and SiOx – are proposed as effective strategies for enhancing the structural stability of MXenes. This review analyzes functionalization methods employing silicon-containing components, including sol –gel synthesis, the Stöber method, chemical vapor deposition (CVD), atomic layer deposition (ALD), and sputtering techniques.

Silicon modification improves oxidation resistance, thermal stability, surface area, and compatibility with composites. These enhanced properties contribute to improved performance of silicon-modified MXenes in lithium- and aluminum-ion batteries, supercapacitors, sensors, and catalysts. Additionally, their photocatalytic activity and pollutant adsorption capabilities support applications in environmental protection technologies. The review also explores sustainable and scalable strategies for integrating MXenes into future multifunctional systems.

Key words: *MXene, silicon dioxide (SiO_2), surface modification, energy storage, water purification, photocatalysis.*

Авторлар туралы мәліметтер:

Мұхтар Әліпұлы* – «Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасының докторанты, Satbayev Univeristy, Қазақстан Республикасы; e-mail: mukhtaralipuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6265-6238.

Қыдыр Асқаруұлы – техникалық ғылымдар докторы, қауымдастырылған профессор, «Жалпы физика» кафедрасы, Satbayev Univeristy, Қазақстан Республикасы; e-mail: k.askaruly@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8998-0409.

Қайнаубек Тоштай – доцент, «Физикалық химия, катализ және мұнай химиясы» кафедрасы, Әл-Фараби Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: kainaubek.toshtay@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1182-7460.

Нұржан Нұрлыбекұлы Нұрғалиев – PhD, Шәкәрім Университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1216-7150.

Сейтхан Азат - Профессор, Инженерлі бейімді зертхана жетекшісі, Satbayev Univeristy, Қазақстан Республикасы; e-mail: s.azat@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9705-7438.

Сведения об авторах

Мұхтар Әліпұлы* – докторант кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика», Satbayev Univeristy, Республика Казахстан; e-mail: mukhtaralipuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6265-6238.

Қыдыр Асқаруұлы – доктор технических наук, Ассоциированный профессор кафедры «Общая физика», Satbayev Univeristy, Республика Казахстан; e-mail: k.askaruly@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8998-0409.

Кайнаубек Тоштай – доцент, кафедра «Физическая химия, катализ и нефтехимия», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан; e-mail: kainaubek.toshtay@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1182-7460.

Нұржан Нұрлыбекұлы Нұрғалиев – PhD, Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1216-7150.

Сейтхан Азат – Профессор, заведующий Лаборатории Инженерного Профиля, Satbayev Univeristy, Республика Казахстан; e-mail: s.azat@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9705-7438.

Information about the authors

Mukhtar Alipuly* – doctoral student of the department «Materials science, nanotechnology and engineering physics», Satbayev Univeristy, Republic of Kazakhstan; e-mail: mukhtaralipuly@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6265-6238.

Kydyr Askaruly – PhD technical sciences, Associate professor of the department of «General physics», Satbayev Univeristy, Republic of Kazakhstan; e-mail: k.askaruly@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8998-0409.

Kainaubek Toshtay – Associate Professor, Department of Physical Chemistry, Catalysis and Petrochemistry, Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: kainaubek.toshtay@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1182-7460.

Nurzhan Nurgaliyev – PhD, Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1216-7150.

Seitkhan Azat – Professor, Head of the Laboratory of Engineering Profile, Satbayev Univeristy, Republic of Kazakhstan; e-mail: s.azat@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9705-7438.

Редакцияға енуі 16.06.2025
Өңдеуден кейін түсуі 08.09.2025
Жариялауға қабылданды 10.09.2025

АВТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН ЕРЕЖЕ

Ғылыми мақала бұрын жарияланбаған және жаңалығы бар авторлық әзірлемелерді, қорытындыларды, ұсыныстарды қамтитын ғылыми зерттеудің, эксперименттік немесе аналитикалық қызметтің бастапқы, аралық немесе түпкілікті нәтижелерінің мәтіндік материалы болуы тиіс. Ғылыми мақалаға жалпы тақырыппен байланысты бұрын жарияланған ғылыми нәтижелерді зерттеуге және талдауға арналған жұмыс кіреді (шолу мақаласы), онда жалпылама тұжырымдар мен ұсыныстар келтірілген.

«Шәкәрім университетінің хабаршысы. Техникалық ғылымдар бөлімі» ғылыми журналы қазақ, орыс, ағылшын тілдеріндегі қолжазбаларды қабылдайды.

Журналдың жиілігі-тоқсанына 1 рет (жылына 4 Нөмір).

Мақала электрондық форматта (.doc, .docx, .rtf) tech.vestnik.shakarim.kz журнал веб-сайтының жүктеу функционалдығы арқылы беріледі.

Порталмен жұмыс істеу үшін tech.vestnik.shakarim.kz сайтына тіркелу қажет.

Журналға жариялау үшін келесі бағыттар бойынша мақалалар қабылданады:

- Автоматтандыру және ақпараттық технологиялар
- Машина жасау және механика
- Тамақ инженериясы және биотехнология
- Техникалық физика және жылу энергетикасы
- Химиялық технология

Материалдарды ресімдеуге қойылатын талаптар

Мақала жиектердің келесі өлшемдерімен ресімделеді: парақтың шетінен шегініс – 2,0 см. Қаріп өлшемі – 11, жоларалық интервал – 1,0, қаріп гарнитурасы – Arial.

Ғылыми мақаланың құрылымы

Структура научной статьи должна включать следующие элементы:

Ғылыми мақаланың құрылымы келесі элементтерді қамтуы керек:

- ҒТАХА индексі (ғылыми-техникалық ақпараттың халықаралық айдары) – беттің сол жақ шетінен көрсетіледі. ҒТАХА индексінің мақаласын тағайындау үшін www.grnti.ru сайтын пайдалану қажет).
- Авторлар туралы мәлімет – ортадағы жол арқылы жазылады:
  - мақала авторының аты-жөні және тегі (алдымен аты-жөні, содан кейін тегі – А.К. Қалиев), қаріп-қалың;
  - автордың (лардың) жұмыс орны-ЖОО (ұйымның), қаланың, елдің атауы;
  - корреспондент-автордың байланыс ақпараты (e-mail).
- Мақаланың атауы (тақырыбы) – жол арқылы, қалың қаріппен, ортасына туралanады. Ол мазмұнды дәл көрсетуі керек, қысқа және нақты болуы керек. Тақырыптағы сөздерді қысқартуға жол берілмейді.
- Аннотация – зерттеудің негізгі мәнінің, зерттеу әдістері мен объектілерінің қысқаша мазмұнын, ең маңызды нәтижелерін, олардың маңыздылығын, ғылыми және тәжірибелік құндылығын қысқаша баяндайды. Аннотация мақала атауынан кейінгі жол арқылы курсивпен орналастырылады. Аннотация көлемі –150-300 сөз.
- Түйін сөздер – мақаланы іздеуге және оның тақырыптық аймағын анықтауға арналған.Түйін сөздердің саны-5-8, курсивпен жазылады.
- Мақаланың негізгі мәтіні – жол арқылы:
  - Кіріспе – өзектіліктің көрінісі;
  - Зерттеу шарттары мен әдістері;
  - Зерттеу нәтижелері;
  - Ғылыми нәтижелерді талқылау;
  - Қорытынды;
  - Пайдаланылған әдебиеттер тізімі – мақала жазылған тілде және ағылшын тілінде рәсімделеді.

- Қаржыландыру туралы ақпарат (бар болса).
- Мақаланың соңында автордың (авторлардың) аты-жөні, ғылыми дәрежесі, атағы, жұмыс орны; ЖОО-ның (ұйымның), қаланың, елдің атауы; әрбір автор үшін байланыс ақпараты (e-mail); мақаланың тақырыбы (атауы); аннотация; мақала тілінен ерекшеленетін екі тілдегі түйінді сөздер келтіріледі (қазақ/орыс, ағылшын).

Материалдардың көлемі, әдетте, мәтінді, суреттерді, кестелерді қоса алғанда, 3 беттен кем болмауы және 8 беттен аспауы тиіс.

Авторлар саны **5 адамнан** аспауы керек.

Суреттерді, карталарды, фотосуреттерді, кестелерді, формулаларды компьютерлік техниканың қолдана отырып орындау және олар туралы айтылғандай мақалада орналастыру ұсынылады. Суреттердің реттік нөмірлері араб цифрларымен белгіленеді, суреттің атауы суреттің астында ортасына келтіріледі (1 – сурет-суреттің атауы).

Кестелер мақаланың мәтінінде бірінші сілтемеден кейін немесе келесі бетте көрсетіледі. Кестенің нөмірі мен атауы беттің сол жағында келтірілген (1 – кесте-кестенің атауы). Кестені келесі бетке ауыстырған жағдайда бағандар нөмірленеді және келесі бетте оң жағында кестенің жалғасы (1 – кестенің жалғасы) көрсетіледі.

Әдебиеттерді ресімдеу тәртібі:

- литература располагается по мере упоминания в тексте;
- Әдебиет мәтінде айтылғандай орналастырылады;
- мәтін бойынша квадрат жақшада сілтеме берілген жұмыстың реттік нөмірі көрсетіледі;
- әдебиеттерді рәсімдеу МЕМСТ 7.1-2003 «Библиографиялық жазба. Библиографиялық сипаттама. Құрастырудың жалпы талаптары мен ережелері»;
- анықтамалық әдебиеттерді дайындау кезінде басылым авторларының толық тізімін (басқаларынсыз) көрсетіңіз.

Әдебиеттер тізімін құрастыру мысалдары

1. Аксартов Р.М. Леукомизинді сандық анықтау әдісі / Р.М. Аксартов, М.И. Айзиков, С.А. Расулова // ҚазҰУ Хабаршысы. Сер. хим. – 2003. – Т. 5, № 8. – Б. 40-41.
2. Курмуков А.А. Леуомизиннің ангиопротекторлық және гиполипидемиялық белсенділігі / А.А. Курмуков. – Алматы: Бастау, 2007. – 148 б.
3. Абимульдина С.Т. Қант өндірісі инфрақұрылымының жұмыс істеуі және дамуы / С.Т. Абимульдина, Г.Е. Сыдыкова, Л.А. Оразбаева // Қазақстанның аграрлық секторындағы Инновация: Матер. Халықарал. конф. / ҚазҰУ. Әл-Фараби атындағы қазұу. – Алматы, 2010. – Б.10-13.
4. Соколовский Д.В. Өзін-өзі реттейтін камера жетектерінің механизмдерін синтездеу теориясы [Электрондық. ресурс] / Д.В. Соколовский. – 2006. – URL: http://bookchamber.kz/stst_2006.htm (қарау күні 12.03.2009).

Автор мақаланы жібергеннен кейін журнал редакциясы ұсынылған жұмысты екі апта ішінде оның талаптарға сәйкестігін тексеру мақсатында (антиплагиат, дизайн, рецензия және т.б.) қарайды.

Журнал редакциясы мақаланы қабылдау туралы оң шешім қабылдаған жағдайда, авторларға жарияланымға ақы төлеу үшін тиісті хабарлама жіберіледі.

Мақала журнал талаптарына сәйкес келмеген жағдайда авторлар электрондық поштаға хабарлама арқылы хабарланатын болады.

Журналдың редакциясы келіп түскен жұмысты рецензиялауға дербес жібереді. Журнал мақаланы авторын жасырып (*Double-blind review*), екі рецензиялаудан өткізеді.

Журналдың редакциясы мақаланың ұқсастығының бар-жоғына тексеруді жүзеге асырады (лицензиялық бағдарламалық қамтамасыз ету пайдаланылады). Мәтіннің өзіндік ерекшелігі **кемінде 75%** болуы керек. Мақалалардағы өзін-өзі сілтеме жасау үлесі 15%-дан аспауы керек. Түпнұсқалықтың қажетті пайызын алмаған мақала авторға пысықтауға жіберіледі. Бірінші және екінші тексерулер тегін, үшінші тексеру – 2000 теңге. Үшінші тексеруден кейін теріс нәтиже алынған жағдайда, мақала журналға жариялауға жіберілмейді.

Мақаланы рәсімдеу үлгісі

ҒТАХА: 32.61.11

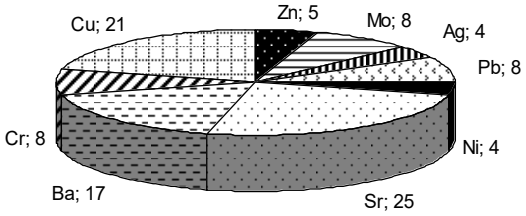
М.А. Смагулов[1*], С.А. Зайцев[2], М.М. Искакова[1], А.К. Каримов[3]
[1]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
[2]Мәскеу мемлекеттік университеті,
119991, Ресей Федерациясы, Мәскеу, Ленин таулары, 1-үй
[3]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Әл-Фараби даңғылы, 71
*e-mail: smagulov@mail.ru

АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ БИОГЕОХИМИЯЛЫҚ МИГРАЦИЯСЫ ЖӘНЕ ЖИНАҚТАЛУЫ

Аңдатпа*: Мақалада зерттеу нәтижелері келтірілген.....…*
Түйін сөздер: *қоршаған орта, биолог, табиғат,.....*

Кіріспе

Ландшафт компоненттерінің Биогеохимиялық қасиеттерін қалыптастыруда атмосфералық, су және биогендік көші-қон маңызды рөл атқарады. Барлық табиғи сулардың ішінде жауын-шашында айтарлықтай өзгерістер байқалады. Қардағы элементтердің шоғырлануы ауа температурасына, ластану көзіне қатысты жел бағытының бағытына, одан қашықтығына, жер бедеріне байланысты [1]. Жауын-шашынның химиялық құрамындағы айырмашылықтар ауа массаларының күрделі қозғалыстарына байланысты. 1-суретте су қоймаларының мұзындағы ауыр металдардың құрамы көрсетілген.



1 сурет – Москворецкий жүйесінің су қоймаларының мұзында ауыр металдар құрамының таралуы

Зерттеу әдістері

Мәтін……

Зерттеу нәтижелері

Жаңбыр сулары құрамы бойынша сульфатты-бикарбонатты- және сульфатты-хлоридті-кальцийлі. Атмосферада шаңның шоғырлануына байланысты олардың минералдануы жоғары. Ландшафттың аудан бірлігіне жауын-шашынға есептелген ауыр металдардың басымдылығы қармен салыстырғанда жаңбырда (Sr, Pb, Cr, Zn, Ni) анықталды (1-кесте).

1 кесте – Қар мен жаңбырдағы ауыр металдардың құрамы, кг/га

№	Ауыр металдар	Қар	Жауын
1	Pb	$0,5x10^{-6}$	$0,2x10^{-4}$
2	Cr	$0,4x10^{-6}$	$1,6x10^{-3}$
3	V	$8,5x10^{-5}$	–
*Ескертпе **			

Ғылыми нәтижелерді талқылау
Мәтін……

Қорытынды
Мәтін……

Әдебиеттер тізімі

1. Курмуков А.А. Леуомизиннің ангиопротекторлық және гиполипидемиялық белсенділігі / А.А. Курмуков. – Алматы: Бастау, 2007. – 148 б.
2. Хрусталева М.А. Табиғи және антропогендік ландшафт компоненттеріндегі ауыр металдардың биогеохимиялық көші-қоны және жинақталуы / М.А. Хрусталева // 3-ші Халықаралық ғылыми конференцияның ғылыми еңбектер жинағы. – Семей қ.: СМУ баспасы Шәкәрім, 2012. – 1 Том. – Б. 368-373.
3. .....

References

1. Kurmukov A.A. Leuomizinnің angioprotektorlyқ zhəne gipolipidemiyalyқ belsendiligi / A.A. Kurmukov. – Almaty: Bastau, 2007. – 148 b.
2. Khrustaleva M.A. Tabiғi zhəne antropogendik landshaft komponentterindegi auyr metaldardyң biogeokhimiyalyқ kөshi-қony zhəne zhinaқtaluy / M.A. Khrustaleva // 3-shi Khalyқaralyқ ғylymi konferentsiyanyң ғylymi eңbekter zhinaғy. – Semei қ.: SMU baspasy Shəkərim, 2012. – 1 Tom. – B. 368-373.
3. .....

М.А. Смагулов[1*], С.А. Зайцев[2], М.М. Искакова[1], А.К. Каримов[3]
[1]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
[2]Московский государственный университет,
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1
[3]Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71
[*]e-mail: smagulov@mail.ru

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ МИГРАЦИЯ И АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Аннотация: *В статье приведены результаты исследования…….*
Ключевые слова: *среда, биолог, природа,…....*

M. Smagulov[1*], S. Zaitsev[2], M. Iskakov[1], A. Karimov[3]
[1]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street
[2]Moscow State University, Moscow, Russia
119991, Russian Federation, Moscow, 1 Leninskie gory Street
[3]Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, 71 Al-Farabi Avenue
*e-mail: smagulov@mail.ru

BIOGEOCHEMICAL MIGRATION AND ACCUMULATION HEAVY METALS

This article discusses the characteristics of the development of eco-geochemical changes in the biosphere. Analyzed discretely, and in particular the relationship of environmental, geochemical and ecological changes. We present the laws of development of ecological-geochemical changes in the biosphere…...
Key words:*…..*

Авторлар туралы мәліметтер

Максат Ануарбекович Смагулов* – техника ғылымдарының докторы, «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының профессоры; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6369-3690.

Сергей Александрович Зайцев – «Физика және математика» кафедрасының физика-математика ғылымдарының кандидаты; Мәскеу мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы; e-mail: zaisev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Маржан Муратовна Искакова – «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының докторанты; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: iskakova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4787-4966.

Айтбек Калиевич Каримов – «Автоматтандыру» кафедрасының аға оқытушысы; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: karimov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5378-2266.

Сведения об авторах

Максат Ануарбекович Смагулов* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6369-3690.

Сергей Александрович Зайцев – кандидат физико-математически наук кафедры «Физика и математика»; Московский государственный университет, Российская Федерация; e-mail: zaisev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Маржан Муратовна – докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: iskakova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4787-4966.

Айтбек Калиевич Каримов – старший преподаватель кафедры «Автоматизация»; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан; e-mail: karimov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5378-2266.

Information about the authors

Maksat Smagulov* – doctor of technical sciences, professor of the department «Technological equipment and mechanical engineering»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6369-3690.

Sergei Zaitsev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Department of Physics and Mathematics; Moscow State University, Russian Federation; e-mail: zaisev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Marjan Iskakova – doctoral student of the department «Technological equipment and mechanical engineering»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: iskakova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4787-4966

Aitbek Karimov – senior teacher at the Department of Automation; Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: karimov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5378-2266

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научная статья должна представлять собой текстовый материал начальных, промежуточных или окончательных результатов научного исследования, экспериментальной или аналитической деятельности, содержащий авторские разработки, выводы, рекомендации, ранее не опубликованные и обладающие новизной. К научной статье относится также работа, посвященная изучению и анализу ранее опубликованных научных результатов, связанных общей темой (обзорная статья), в которой приводятся обобщающие выводы и рекомендации.

В научный журнал «Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки» принимаются рукописи на казахском, русском, английском языках.

Периодичность журнала – 1 раз в квартал (4 номера в год).

Статья подается в электронном формате (.doc, .docx, .rtf) посредством загрузки через функционал веб-сайта журнала tech.vestnik.shakarim.kz

Для работы с порталом необходимо зарегистрироваться на сайте tech.vestnik.shakarim.kz

Для публикации в журнал принимаются статьи по следующим направлениям:

- Автоматизация и информационные технологии
- Машиностроение и механика
- Пищевая инженерия и биотехнология
- Техническая физика и теплоэнергетика
- Химическая технология

Требования к оформлению материалов

Статья оформляется со следующими размерами полей: отступ от края листа – 2,0 см. Кегль шрифта – 11, межстрочный интервал – 1,0, гарнитура шрифта – Arial.

Структура научной статьи

Структура научной статьи должна включать следующие элементы:

- Индекс МРНТИ (международный рубрикатор научно-технической информации) – указывается с левого края страницы. Для присвоения статье индекса МРНТИ необходимо использовать сайт www.grnti.ru).
- Сведения об авторах – пишутся через строку по центру:
  - инициалы и фамилия автора(-ов) статьи (сначала инициалы, затем фамилия – А.К. Калиев), шрифт – полужирный;
  - место работы автора(-ов) – название вуза (организации), города, страны;
  - контактная информация (e-mail) автора-корреспондента.
- Название статьи (заголовок) – через строку, выделяется полужирным шрифтом, выравнивание по центру. Должно точно отражать содержание, быть кратким и лаконичным. Сокращение слов в заглавии не допускается.
- Аннотация – краткое изложение основной сути исследований, методов и объектов исследований, наиболее важных результатов, их значимость, научная и практическая ценность. Аннотация размещается через строку после названия статьи курсивом. Объем аннотации – 150-300 слов.
- Ключевые слова – предназначены для поиска статьи и определения ее предметной области. Количество ключевых слов – 5-8, оформляются курсивом.
- Основной текст статьи – через строку:
  - Введение – отражение актуальности;
  - Условия и методы исследования;
  - Результаты исследований;
  - Обсуждение научных результатов;
  - Заключение;
  - Список литературы – оформляется на языке написания статьи и на английском языке.
- Информация о финансировании (при наличии).

- В конце статьи приводятся инициалы и фамилия, ученая степень, звание, место работы автора(-ов); название вуза (организации), города, страны; контактная информация (e-mail) для каждого автора; заглавие (название) статьи; аннотация; ключевые слова на двух языках, отличимых от языка статьи (казахский/русский, английский).

Объем материалов, как правило, не должен быть менее 3 страниц и не более 8 страниц, включая текст, рисунки, таблицы.

Количество авторов не должно превышать **5 человек**.

Рисунки, карты, фотографии, таблицы, формулы рекомендуется выполнять с помощью компьютерной техники и размещать в статье по мере их упоминания. Порядковые номера рисунков обозначаются арабскими цифрами, название рисунка приводятся по центру под рисунком (Рисунок 1 – Название рисунка).

Таблицы отражаются в тексте статьи после первой ссылки или на следующей странице. Номер и название таблицы приводятся с левой стороны страницы (Таблица 1 – Название таблицы). В случае переноса таблицы на следующую страницу, столбцы нумеруются и на следующей странице с правой стороны указывается продолжение таблицы (Продолжение таблицы 1).

Порядок оформления литературы:

- литература располагается по мере упоминания в тексте;
- по тексту в квадратных скобках указывается порядковый номер работы, на которую дается ссылка;
- оформление литературы должно производиться в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления»;
- при оформлении пристатейной литературы приводить полный перечень авторов издания (без др.).

Примеры оформления списка литературы

1. Аксартов Р.М. Метод количественного определения леукомизина / Аксартов Р.М., М.И. Айзиков, С.А. Расулова // Вестник КазНУ. Сер. хим. – 2003. – Т.1., № 8. – С. 40-41.
2. Курмуков А.А. Ангиопротекторная и гиполипидемическая активность леуомизина / А.А. Курмуков. – Алматы: Бастау, 2007. – 148 с.
3. Абимульдина С.Т. Функционирование и развитие инфраструктуры сахарного производства / С.Т. Абимульдина, Г.Е. Сыдыкова, Л.А. Оразбаева // Инновация в аграрном секторе Казахстана: Матер. Междунар. конф. / КазНУ им. аль-Фараби. – Алматы, 2010. – С. 10-13.
4. Соколовский Д.В. Теория синтеза самоустанавливающихся кулачковых механизмов приводов [Электрон. ресурс] / Д.В. Соколовский. – 2006. – URL: http://bookchamber.kz/stst_2006.htm (дата обращения: 12.03.2009).

После представления автором статьи редакция журнала рассматривает поступившую работу в течение двух недель с целью проверки ее соответствия предъявляемым требованиям (антиплагиат, оформление, рецензирование и т.д.).

В случае положительного решения редакции журнала о принятии статьи, авторам направляется соответствующее сообщение для произведения оплаты публикации.

В случае несоответствия статьи требованиям журнала авторы будут извещены сообщением на электронную почту.

Редакция журнала самостоятельно направляет поступившую работу на рецензирование. В журнале применяется двойное слепое рецензирование (*Double-blind review*), то есть конфиденциально.

Редакция журнала осуществляет проверку статьи на наличие заимствований (используется лицензионное программное обеспечение). Оригинальность текста должна составлять **не менее 75%**. Доля самоцитирования в статьях не должна превышать 15%. Статья, не набравшая необходимый процент оригинальности, направляется автору на доработку. Первая и вторая проверки осуществляются бесплатно, третья проверка – 2000 тенге. В случае получения отрицательного результата после третьей проверки, статья не допускается к публикации в журнале.

Образец оформления статьи

МРНТИ: 32.61.11

М.А. Смагулов[1*], С.А. Зайцев[2], М.М. Искакова[1], А.К. Каримов[3]
[1]Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
[2]Московский государственный университет,
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1
[3]Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71
[*]e-mail: smagulov@mail.ru

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ МИГРАЦИЯ И АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Аннотация: *В статье приведены результаты исследования……*
Ключевые слова: *среда, биолог, природа,…....*

Введение

В формировании биогеохимических свойств компонентов ландшафта важную роль играет атмосферная, водная и биогенная миграция. Из всех природных вод наиболее заметные изменения наблюдаются в атмосферных осадках. Концентрация элементов в снеге зависит от температуры воздуха, направления розы ветров по отношению к источнику загрязнения, удаленности от него, рельефа местности [1]. Различия химического состава атмосферных осадков обусловлены сложными перемещениями воздушных масс. На рисунке 1 отображено содержание тяжелых металлов во льду водохранилищ.

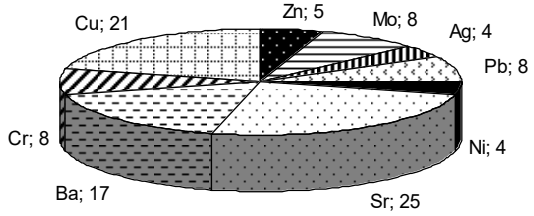


Рисунок 1 – Распределение содержания тяжелых металлов во льду водохранилищ Москворецкой системы

Методы исследования

Текст……

Результаты исследований

Дождевые воды по составу сульфатно-гидрокарбонатно- и сульфатно-хлоридно-кальциевые. Минерализация их выше за счет концентрации в атмосфере пыли. Выявлено преобладание тяжелых металлов, рассчитанных при выпадении на единицу площади ландшафта, в дожде (Sr, Pb, Cr, Zn, Ni) по сравнению со снегом (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в снеге и дожде, кг/га

№	Тяжелые металлы	Снег	Дождь
1	Pb	$0,5x10^{-6}$	$0,2x10^{-4}$
2	Cr	$0,4x10^{-6}$	$1,6x10^{-3}$
3	V	$8,5x10^{-5}$	–
*Примечание: **			

Обсуждение научных результатов

Текст……

Заключение

Текст……

Список литературы

1. Курмуков А.А. Ангиопротекторная и гиполипидемическая активность леуомизина / А.А. Курмуков. – Алматы: Бастау, 2007. – 148 с.
2. Хрусталева М.А. Биогеохимическая миграция и аккумуляция тяжелых металлов в компонентах природных и антропогенных ландшафтов / М.А. Хрусталева // Сборник трудов 3-й Международной научной конференции. – г. Семей: Изд-во СГУ им. Шакарима, 2012. – Том 1. – С. 368-373.

References

1. Kurmukov A.A. Angioprotektornaya i gipolipidemicheskaya aktivnost' leuomizina / A.A. Kurmukov. – Almaty: Bastau, 2007. – 148 s.
2. Khrustaleva M.A. Biogeokhimicheskaya migratsiya i akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v komponentakh prirodnykh i antropogennykh landshaftov / M.A. Khrustaleva // Sbornik trudov 3-i Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. – g. Semei: Izd-vo SGU im. Shakarima, 2012. – Tom 1. – S. 368-373.

М.А. Смагулов[1*], С.А. Зайцев[2], М.М. Искакова[1], А.К. Каримов[3]
[1]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20 А
[2]Мәскеу мемлекеттік университеті,
119991, Ресей Федерациясы, Мәскеу, Ленин таулары, 1-үй
[3]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., әл-Фараби даңғылы, 71
*e-mail: smagulov@mail.ru

АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ БИОГЕОХИМИЯЛЫҚ МИГРАЦИЯСЫ ЖӘНЕ ЖИНАҚТАЛУЫ

Бұл мақалада биосферадағы экологиялық-геохимиялық өзгерістердің даму сипаттамасы қаралады. Қоршаған геохимиялық және экологиялық-геохимиялық өзгерістердің әсерлері бөлек және жекеше талданды. Біз биосферадағы экологиялық-геохимиялық өзгерістердің дамуының заңдылығын ұсынамыз. .....

Түйін сөздер:*.....*

M. Smagulov[1*], S. Zaitsev[2], M. Iskakov[1], A. Karimov[3]
[1]Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street
[2]Moscow State University, Moscow, Russia
119991, Russian Federation, Moscow, 1 Leninskie gory Street
[3]Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, 71 Al-Farabi Avenue
*e-mail: smagulov@mail.ru

BIOGEOCHEMICAL MIGRATION AND ACCUMULATION HEAVY METALS

This article discusses the characteristics of the development of eco-geochemical changes in the biosphere. Analyzed discretely, and in particular the relationship of environmental, geochemical and ecological changes. We present the laws of development of ecological-geochemical changes in the biosphere…...

Key words:*…..*

Сведения об авторах

Максат Ануарбекович Смагулов* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6369-3690.

Сергей Александрович Зайцев – кандидат физико-математически наук кафедры «Физика и математика»; Московский государственный университет, Российская Федерация; e-mail: zaisev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Маржан Муратовна Искакова – докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: iskakova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4787-4966.

Айтбек Калиевич Каримов – старший преподаватель кафедры «Автоматизация»; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан; e-mail: karimov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5378-2266.

Авторлар туралы мәліметтер

Максат Ануарбекович Смагулов* – техника ғылымдарының докторы, «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының профессоры; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6369-3690.

Сергей Александрович Зайцев – «Физика және математика» кафедрасының физика-математика ғылымдарының кандидаты; Мәскеу мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы; e-mail: zaisev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Маржан Муратовна Искакова – «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының докторанты; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: iskakova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4787-4966.

Айтбек Калиевич Каримов – «Автоматтандыру» кафедрасының аға оқытушысы; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: karimov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5378-2266.

Information about the authors

Maksat Smagulov* – doctor of technical sciences, professor of the department «Technological equipment and mechanical engineering»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6369-3690.

Sergei Zaitsev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Department of Physics and Mathematics; Moscow State University, Russian Federation; e-mail: zaisev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Marjan Iskakova – doctoral student of the department «Technological equipment and mechanical engineering»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: iskakova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4787-4966

Aitbek Karimov – senior teacher at the Department of Automation; Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: karimov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5378-2266

RULES FOR AUTHORS

A scientific article should be a textual material of the initial, intermediate or final results of a scientific research, experimental or analytical activity, containing author's developments, conclusions, recommendations that have not been previously published and have novelty. A scientific article also includes a work devoted to the study and analysis of previously published scientific results related to a common theme (review article), which provides generalizing conclusions and recommendations.

In the scientific journal “Bulletin of Shakarim University”. Series of technical sciences” accepts manuscripts in Kazakh, Russian, English.

Periodicity of the journal – 1 time per quarter (4 issues per year).

The article is submitted in electronic format (.doc, .docx, .rtf) by downloading through the functionality of the journal website tech.vestnik.shakarim.kz

To work with the portal, you need to register on the site tech.vestnik.shakarim.kz

Articles in the following areas are accepted for publication in the journal:

- Automation and information technology
- Engineering and mechanics
- Food engineering and biotechnology
- Technical physics and Thermal power engineering
- Chemical Technology

Requirements for the formalization of materials

The article is drawn up with the following margins: indent from the edge of the sheet – 2.0 cm. Font size – 11, line spacing – 1.0, typeface – Arial.

Structure of a scientific article

• ISTIR index (international scientific and technical information rubric) – indicated from the left edge of the page. To assign an ISTIR index to an article, you need to use the site www.grnti.ru.

• Information about the authors – written on the next line in the center

– initials and surname of the author (s) of the article (first write the initials, then the surname – A. Kaliev), font selection – bold;

– place of work of the author(s) – the name of the university (organization), city, country;

– contact information (e-mail) of the corresponding author.

• Title of the article (title) – next line, highlighted in bold, center alignment. It should accurately reflect the content, be short and concise. Shortening of words in the title is not allowed.

• Annotation - a summary of the main essence of research, methods and objects of research, the most important results, their significance, scientific and practical value. The annotation is placed one line after the title of the article in italics. The volume of the abstract is 150-300 words.

• Keywords are designed to search for an article and determine its subject area. The number of keywords - 5-8, are written in italics.

• The main text of the article – through the line:

Introduction – a reflection of relevance;

– Conditions and methods of research;

– Research results;

– Discussion of scientific results;

– Conclusion;

– The list of references is drawn up in the language of writing the article and in English.

• Funding information (in the presence).

• At the end of the article, the initials and surname, academic degree, title, place of work of the author(s) are given; the name of the university (organization), city, country; contact information (e-mail) for each author; title (heading) of the article; annotation; keywords in two languages distinct from the language of the article (Kazakh/Russian, English).

The volume of materials, as a rule, should not be less than 3 pages and not more than 8 pages, including text, figures, tables.

The number of authors should not exceed **5 people**.

Drawings, maps, photographs, tables, formulas are recommended to be done using computer technology and placed in the article as they are mentioned. Sequential numbers of figures are indicated by Arabic numerals, the name of the figure is given in the center under the figure (Figure 1 – The title of the figure).

Tables are reflected in the text of the article after the first link or on the next page. The number and title of the table are given on the left side of the page (Table 1 – The title of the table). If the table is transferred to the next page, the columns are numbered and on the next page, on the right side, the continuation of the table is indicated (Continuation of table 1).

The order of registration of literature:

– literature is arranged as it is mentioned in the text;

– the text in square brackets indicates the serial number of the work to which the link is given;

– the design of the literature should be carried out in accordance with the requirements of GOST 7.1-2003 «Bibliographic record. Bibliographic description. General requirements and rules for drafting»;

– when preparing referenced literature, provide a complete list of the authors of the publication (without others).

Examples of designing a list of references

1. Aksartov R.M. Metod kolichestvennogo opredeleniya leukomizina / Aksartov R.M., M.I. Aizikov, S.A. Rasulova // Vestnik KaZNU. Ser. khim. – 2003. – T.1., № 8. – S. 40-41.
2. Kurmukov A.A. Angioprotektornaya i gipolipidemicheskaya aktivnost' leuomizina / A.A. Kurmukov. – Almaty: Bastau, 2007. – 148 s.
3. Abimul'dina S.T. Funktsionirovanie i razvitie infrastruktury sakharnogo proizvodstva / S.T. Abimul'dina, G.E. Sydykova, L.A. Orazbaeva // Innovatsiya v agrarnom sektore Kazakhstana: Mater. Mezhdunar. konf. / KaZNU im. al'-Farabi. – Almaty, 2010. – S. 10-13.
4. Sokolovskii D.V. Teoriya sinteza samoustanavlivayushchikhsya kulachkovykh mekhanizmov privodov [Ehlektron. resurs] / D.V. Sokolovskii. – 2006. – URL: http://bookchamber.kz/stst_ 2006.htm (data obrashcheniya: 12.03.2009).

After the submission of the article by the author, the editors of the journal review the submitted work within two weeks in order to check its compliance with the requirements (anti-plagiarism, design, review, etc.).

In case of a positive decision of the editorial board of the journal to accept the article, the authors are sent a corresponding message to pay for the publication.

In case of non-compliance of the article with the requirements of the journal, the authors will be notified by e-mail.

The editorial board of the journal independently sends the received work for review. The journal uses *double-blind review*, that is, it is confidential.

The editorial board of the journal checks the article for borrowings (licensed software is used). The originality of the text must be **at least 75%.** The share of self-citations in articles should not exceed 15%. An article that does not reach the required percentage of originality is sent to the author for revision. The first and second checks are free of charge, the third check is 2000 tenge. If a negative result is obtained after the third check, the article is not allowed for publication in the journal.

Sample design of the article

IRSTI: 32.61.11

M. Smagulov[1], S. Zaitsev[2], M. Iskakova[1], A. Karimov[3]
[1]Shakarim University
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A, Glinki str.
[2]Moscow State University,
119991, Russian Federation, Moscow, Leninskiye Gory, 1, str.
[3]Kazakh al-Farabi National University
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, al-Farabi Ave., 71
*e-mail: smagulov@mail.ru

BIOGEOCHEMICAL MIGRATION AND ACCUMULATION HEAVY METALS

Annotation: *The article presents the results of the study……*
Key words: *environment, biologist, nature,…....*

Introduction

Atmospheric, water, and biogenic migration plays an important role in the formation of the biogeochemical properties of landscape components. Of all natural waters, the most noticeable changes are observed in precipitation. The concentration of elements in the snow depends on the air temperature, the direction of the wind rose in relation to the source of pollution, the distance from it, and the terrain [1]. Differences in the chemical composition of precipitation are due to complex movements of air masses. Figure 1 shows the content of heavy metals in the ice of reservoirs.

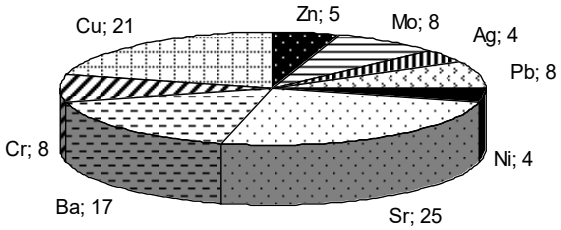


Figure 1 – Distribution of heavy metals in the ice of reservoirs of the Moskvoretskaya system

Research methods

Text……

Research results

Rain waters are sulfate-bicarbonate- and sulfate-chloride-calcium in composition. Their mineralization is higher due to the concentration of dust in the atmosphere. The predominance of heavy metals calculated for precipitation per unit area of the landscape was revealed in rain (Sr, Pb, Cr, Zn, Ni) compared to snow (Table 1).

Table 1 – Content of heavy metals in snow and rain, kg/ha

№	Heavy Metals	Snow	Rain
1	Pb	$0,5x10^{-6}$	$0,2x10^{-4}$
2	Cr	$0,4x10^{-6}$	$1,6x10^{-3}$
3	V	$8,5x10^{-5}$	–
*Note: **			

Discussion of scientific results

Text……

Conclusion

Text……

References

1. Kurmukov A.A. Angioprotektornaya i gipolipidemicheskaya aktivnost' leuomizina / A.A. Kurmukov. – Almaty: Bastau, 2007. – 148 s.
2. Khrustaleva M.A. Biogeokhimicheskaya migratsiya i akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v komponentakh prirodnykh i antropogennykh landshaftov / M.A. Khrustaleva // Sbornik trudov 3-i Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. – g. Semei: Izd-vo SGU im. Shakarima, 2012. – Tom 1. – S. 368-373.
3. …

М.А. Смагулов[1*], С.А. Зайцев[2], М.М. Искакова[1], А.К. Каримов[3]
[1]Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20 А
[2]Мәскеу мемлекеттік университеті,
119991, Ресей Федерациясы, Мәскеу, Ленин таулары, 1-үй
[3]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., әл-Фараби даңғылы, 71
*e-mail: smagulov@mail.ru

АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ БИОГЕОХИМИЯЛЫҚ МИГРАЦИЯСЫ ЖӘНЕ ЖИНАҚТАЛУЫ

Бұл мақалада биосферадағы экологиялық-геохимиялық өзгерістердің даму сипаттамасы қаралады. Қоршаған геохимиялық және экологиялық-геохимиялық өзгерістердің әсерлері бөлек және жекеше талданды. Біз биосферадағы экологиялық-геохимиялық өзгерістердің дамуының заңдылығын ұсынамыз. .....

Түйін сөздер:*.....*

М.А. Смагулов[1*], С.А. Зайцев[2], М.М. Искакова[1], А.К. Каримов[3]
[1] Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
[2]Московский государственный университет,
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1
[3]Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71
[*]e-mail: smagulov@mail.ru

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ МИГРАЦИЯ И АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Аннотация: *В статье приведены результаты исследования……*
Ключевые слова: *среда, биолог, природа,…....*

Information about the authors

Maksat Smagulov* – doctor of technical sciences, professor of the department «Technological equipment and mechanical engineering»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6369-3690.

Sergei Zaitsev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Department of Physics and Mathematics; Moscow State University, Russian Federation; e-mail: zaisev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Marjan Iskakova – doctoral student of the department «Technological equipment and mechanical engineering»; Shakarim University, Republic of Kazakhstan; e-mail: iskakova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4787-4966

Aitbek Karimov – senior teacher at the Department of Automation; Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: karimov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5378-2266

Сведения об авторах

Максат Ануарбекович Смагулов* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6369-3690.

Сергей Александрович Зайцев – кандидат физико-математически наук кафедры «Физика и математика»; Московский государственный университет, Российская Федерация; e-mail: zaisev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Маржан Муратовна Искакова – докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Шәкәрім университет, Республика Казахстан; e-mail: iskakova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4787-4966.

Айтбек Калиевич Каримов – старший преподаватель кафедры «Автоматизация»; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан; e-mail: karimov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5378-2266.

Авторлар туралы мәліметтер

Максат Ануарбекович Смагулов* – техника ғылымдарының докторы, «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының профессоры; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6369-3690.

Сергей Александрович Зайцев – «Физика және математика» кафедрасының физика-математика ғылымдарының кандидаты; Мәскеу мемлекеттік университеті, Ресей Федерациясы; e-mail: zaisev@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7057-0461.

Маржан Муратовна Искакова – «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының докторанты; Шәкәрім университеті, Қазақстан; e-mail: iskakova@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4787-4966.

Айтбек Калиевич Каримов – «Автоматтандыру» кафедрасының аға оқытушысы; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: karimov@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5378-2266.

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТТАНДЫРУ ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Y.A. Tuleshov, A. Nazyrova, A.A. Tuyakbayev, Zh.N. Issabekov
ANALYSIS OF HYDROGEN GAS DETECTION SENSORS..... 5

Ж.Е. Байғараева, Б.Т. Иманбек, А.К. Болтабоева, Д. Турмаханбет, Г.А. Амирханова
ИНТЕГРАЦИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ ПАЦИЕНТА И ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ…….. 11

М.А. Бакыт, Х. Молдамурат, Д.М. Калманова, О. Абдирашев, А. Конырханова
МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ЛЕГКОВЕСНОГО ПОТОЧНОГО ШИФРОВАНИЯ CHACHA20…….. 21

Н.С. Глазырина, А.К. Шайханова, К.М. Аяпбергенов, И.А. Сенюшин, Р. Муратхан
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КРИПТОКОНТРОЛЕРА В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН…….. 31

Қ. Махамбетов, Б.А. Бельгибаев, N. Kunicina
ТАМАҚ ӨНЕРКӘСІБІНДЕ ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕРДІ ҚҰРУ ҮШІН MATLAB PDE TOOLBOX КӨМЕГІМЕН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ..... 40

А.М. Нурушева, Д.Ж. Сатыбалдина, А.К. Шайханова, А.Р. Кусаинов
РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА РИСКОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ…… 48

К.Б. Тусупова
АЛГОРИТМ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В ОТКРЫТОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ…… 55

D. Amrin, S. Mukhanov, S. Amanzholova, B. Amirgaliyev
A COMPARATIVE ANALYSIS OF NEURAL NETWORK MODELS ON PREDICTING STOCK PRICES… 64

Ж. Жантлесов, С. Алтынбек, А. Мусабаев
ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ SLM 3D-ПРИНТЕРА…… 73

G. Shuitenov, A. Turginbayeva, S. Altynbek, M. Muratbekov, Zh. Yessenzholov
BLOCKCHAIN-ENABLED VOTE VALIDATION THROUGH A CRYPTOGRAPHIC AND SYSTEM-LEVEL APPROACH TO SECURE ELECTIONS…….. 81

И.Г. Курмашев, А.К. Қосаяқова, Д.М. Калманова, О.К. Абдирашев
ОБЪЕКТІНІ АНЫҚТАУ ТАПСЫРМАСЫНДА GPT ЖӘНЕ ӨЗІМІЗ ЖАСАҒАН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ НЕГІЗІНДЕГІ МОДЕЛЬДЕРДІ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ..... 90

А.А. Бондарович, А. Мәуліт, И.А. Очередько, Ж.З. Жантасова
ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ОЦЕНКЕ ПОЧВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ, ПОДВЕРЖЕННОЙ ПАВОДКАМ: ОБЗОР…….. 98

А.М. Искакова, О.С. Салыкова, Н.А. Дидарбекова, А.А. Артыкбаева
ШКАЛИРОВАНИЕ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО АДАПТИВНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ РАША …….. 116

Н.А. Бажаев, А.К. Шайханова, Д.Ж. Сатыбалдина, К.С. Бакенова
IEEE 802.15.4 ЖЕЛІЛЕРІНДЕ ҚАУІПСІЗДІКТІ ҮЗДІКСІЗ МОНИТОРИНГІЛЕУДІҢ ЗИЯТКЕРЛІК ӘДІСІ АДАПТИВТІ АНОМАЛИЯЛАР ТАЛДАУЫ НЕГІЗІНДЕ..... 127

К.Е. Икласова, А.К. Шайханова, М.Ж. Базарова, Р.М. Ташибаев, А.М. Айтымова
МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ…….. 135

Е.С. Талмурзин, Г.Д. Бәзіл, А.А. Абсатарова, Е.Ж. Оракбаев, Е.А. Оспанов
БИОЛОГИЯЛЫҚ СУДЫ ТАЗАРТУДЫ АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ 141

Г.Б. Бахадирова, Н. Тасболатұлы, А.А. Танирбергенова, К.С. Бакенова
PYTHON ТІЛІНДЕ КЕРІ БАЙЛАНЫС АРҚЫЛЫ ЖОҒАРЫ РЕТТІ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІ БАСҚАРУДЫ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ..... 152

Б. Асанова, Б. Оразбаев, Ж. Молдашева, Ж. Шангитова, А. Кушубаева
СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТЯНОГО КОКСА…….. 162

К.П. Аман, А.А. Мусина*, Д.Д. Елубаева
РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СТАНКА РЕЗКИ ОРНАМЕНТОВ НА БАЗЕ МЕХАТРОНИКИ…….. 173

МАШИНА ЖАСАУ ЖӘНЕ МЕХАНИКА

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕХАНИКА

С.И. Буреш, Б.А. Лобасенко, Г.Б. Абдилова, Р.К. Кусаинов, А.М. Муратбаев
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СТАЛИ 20ГЛ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ЗАКАЛКИ…… 183

А.Қ. Базанова, А.Қ. Кәкімов, Н.К. Ибрагимов, А.А. Майоров
СҮТ ҚҰРАМЫНДА КЕЗДЕСЕТІН ЗИЯНДЫ ЗАТТАРДЫҢ МӨЛШЕРІН ТӨМЕНДЕТУГЕ АРНАЛҒАН АДСОРБЦИЯЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫНЫ ЖЕТІЛДІРУ: САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ..... 197

R.K. Kussainov, A.B. Shynarbek, R.Kh. Kurmangaliyev, N.E. Kadyrbolat, N.E. Musatayeva
PHYSICAL FOUNDATIONS OF THE FORMATION OF A STRENGTHENED STRUCTURE OF STRUCTURAL STEELS DURING ELECTROLYTIC-PLASMA HARDENING…….. 203

Д.Б. Ермекова, У Ган
МАШИНОСТРОЕНИЕ В ШӘКӘРІМ УНИВЕРСИТЕТЕ: СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ……. 209

ТАМАҚ ИНЖЕНЕРИЯСЫ ЖӘНЕ БИОТЕХНОЛОГИЯ

ПИЩЕВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

Б. Калемшарив, А. Ибраева, А.Қ. Игенбаев, А.К. Мустафаева, Г.Б. Абдилова
ДӘСТҮРЛІ ЖӘНЕ АЦИДОФИЛЬДІ ҰЙЫТҚЫЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП СҮТҚЫШҚЫЛДЫ СУСЫН ДАЙЫНДАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ..... 217

А.К. Суйчинов, Ж.С. Есимбеков, Г.А. Капашева, Г.Е. Жүзжасарова
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОВЯЖЬИХ, КОНСКИХ И БАРАНЬИХ СУБПРОДУКТОВЫХ ПАСТ..... 225

L.D. Abubakirova, T.Ch. Tultabayeva
THE RESEARCH OF THE QUALITY OF MILLET AND OAT…….. 233

Б.К. Асенова, А.Н. Нұрғазезова, Г.Н. Нұрымхан, А.С. Камбарова, Л.С. Бакирова
ӨСІМДІКТЕН ЖӘНЕ ЖАНУАРДАН АЛЫНАТЫН ФУНКЦИОНАЛДЫ БИӨНІМДЕРДІ ЕМДІК-ПРОФИЛАКТИКАЛЫҚ ТАҒАМДА ПАЙДАЛАНУ..... 239

Б.М. Силыбаева, Р.Ұ Ашакаева, Ж.Т. Букабаева, Ш.Т. Кырыкбаева, Н.С. Кунанбаева
СҮТ САРЫСУЫНАН ТҰРМЫСҚА ҚАЖЕТТІ ЖУҒЫШ ЗАТ ӨНІМДЕРІН АЛУ..... 246

Zh. Atambayeva, S. Tumenov, G. Tumenova, A. Nurgazezova, G. Nurymhan
EFFECT OF SPROUTED GREEN BUCKWHEAT ON ORGANOLEPTIC PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF MEAT CUTLETS…… 254

Т.А. Мухамедов, Т.А. Байбатыров, Г.С. Сагитова, Н.А. Еріш, Ш.С. Габдулин
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МЯСА ПРИ СОЗРЕВАНИИ…… 263

М.Т. Мурсалыкова, Ж.Н. Баяшева, Г.А. Кокаева, А.М. Шуленова, Е.Т. Кажибаева
ТАУЫҚ АСҚАЗАНДАРЫН ТАМАҚ ЖӘНЕ ЕМДІК-ПРОФИЛАКТИКАЛЫҚ МАҚСАТТАРҒА ӨҢДЕУДІҢ ҚАЛДЫҚСЫЗ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ТАЛДАУ..... 277

Г.К. Искакова, А.С. Абдреева, М.П. Байысбаева, А.К. Изембаева, Д.А.Шаншарова
ҚАРА ШЕТЕН ЖЕМІСТЕРІНІҢ САПАСЫН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ОЛАРДАН ЭКСТРАКТІЛЕР МЕН КОНЦЕНТРАТТАР АЛУ..... 285

Б.Қ. Оспанова, Т.Ч. Тултабаева, А.Е. Турсынханова, Р.У. Ашакаева, Ұ.Е. Асанова
ҰЛТТЫҚ СҮТ ӨНІМІНІҢ ҚҰРАМЫН ӨСІМДІК ТЕКТІ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ ҚОСПАЛАРМЕН БАЙЫТУ, ШЫРҒАНАҚ ПЕН ИТМҰРЫННЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТИІМДІЛІГІ..... 295

А.Б. Омарова, Г.Т. Касенова, А.Д. Серикбаева, Т.Д. Икомбаев, А.К. Туганбай
СКРИНИНГ ЭКЗОПОЛИСАХАРИДПРОДУЦИРУЮЩИХ ШТАММОВ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПИЩЕВОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ…… 302

A.B. Beisembaeva, Sh.A. Abzhanova, A. Zh. Bozhbanov, A.U. Baibekova, A.Zhengissova
INFLUENCE OF PAPAIN FERMENT AND BIOPROTECTIVE B-SF-43 ON PH AND FATTY ACIDITY OF MEAT PRODUCTS…….. 311

M.M. Kuikolakova, G.I. Baigaziyeva, E.B. Askarbekov, I.Yu. Sergeeva
ENRICHMENT OF A FUNCTIONAL BEVERAGE USING ALHAGI PLANT EXTRACT…….. 319

А.М. Шуленова, А.Л. Касенов, М.М. Какимов, М.Т. Мурсалыкова, С.Н. Туменов
СОЙЫЛҒАН ІРІ ҚАРА МАЛДЫҢ ҚАН ПЛАЗМАСЫНЫҢ КОНСИСТЕНЦИЯСЫ МЕН ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚАБІЛЕТІН САЛЫСТЫРМАЛЫ БАҒАЛАУ..... 325

Н.Р. Муслимова, Г.Н. Нұрымхан, Ж.Э. Озбекова
СИЫР ЕТІН ИЛУ-10 ЭЛЕКТРОНДЫ ҮДЕТКІШТЕ ӨҢДЕУДІҢ ОҢТАЙЛЫ ПАРАМЕТРІ ЖӘНЕ ОНЫҢ САҚТАУ МЕРЗІМІНЕ ӘСЕРІ..... 333

Б.С. Туганова, Д.А. Жусупбаева, А.Ж. Агибаева
ЕШКІ ЖӘНЕ ҚОЙ СҮТІНІҢ НЕГІЗІНДЕ ЖАСАЛҒАН «КЕРЕКУ» ҰЛТТЫҚ ЖҰМСАҚ ІРІМШІК ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ..... 340

A.T. Abdullayev, A.U. Shengisov, A.Sh. Azizov, T.V. Dubovik
PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF CHITOSAN FROM VARIOUS NATURAL SOURCES FOR USE IN THE FOOD INDUSTRY..... 349

Э.К. Окусханова
ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ВОЛН НА НАПРЯЖЕНИЕ СРЕЗА МЯСНОГО СЫРЬЯ…….. 355

Д.С. Свидерская, **Е.Ф. Краснопёрова, А.М. Шуленова, Н.В. Волкова, Оспанова К.К.**
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ХРАНЕНИИ МОРОЖЕНОГО, СОДЕРЖАЩЕГО РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЕ, И ДИЗАЙН ЕГО УПАКОВКИ…….. 362

Ф.Х. Смольникова, Б.К. Асенова, Ш.Б. Байтукенова, Г.Т. Жуманова, Ж.М. Атамбаева
ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОЛБАСНОГО ИЗДЕЛИЯ С РАСТИТЕЛЬНЫМ ЭКСТРАКТОМ ИЗ ФЕРМЕНТИРОВАННОГО ЗВЕРОБОЯ…… 370

А.У. Шингисов, И.А. Махатова, Э.У. Майлыбаева, У.У. Тастемирова, А.Ж. Шиналиева
ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПЛОДООВОЩНОГО-ЯГОДНОГО ДЕСЕРТА «КИЁМА»..... 380

Л.Б. Умиралиева, А.Б. Оспанов, Э.Т. Исмаилова, И.Д. Филатов
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА БИОПРЕПАРАТОВ ЗАКВАСОК ДЛЯ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОАКТИВНЫХ КУЛЬТУР МИКРООРГАНИЗМОВ…… 390

Э.К. Окусханова, Б.К. Асенова, Ж.М. Атамбаева, Н.Т. Тимур, М.Б. Ребезов
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ КОТЛЕТ ДЛЯ БУРГЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕЛКОВО-ЖИРОВОЙ ЭМУЛЬСИИ..... 407

Г.Н. Нұрымхан, Л.С. Бакирова, С.К. Касымов, Н.Р. Муслимова
ҚОСЫМША ЕТ ШИКІЗАТТАРЫНАН ӨНДІРІЛГЕН ШҰЖЫҚ ӨНІМІН ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ ТАМАҚ ҚАУІПСІЗДІГІН БАҒАЛАУ…….. 419

А.М. Муратбаев, Г.А. Жумадилова, Б.А. Идырышев, М.М. Ташыбаева, А.К. Базанова
СҮТҚЫШҚЫЛ ӨНІМІН БАЙЫТУ ҮШІН ДӘРІЛІК ӨСІМДІКТЕРДІҢ САПАСЫ МЕН ТАҒАМДЫҚ ҚАУІПСІЗДІГІН БАҒАЛАУ..... 427

М.М. Шарапатова, З.В. Капшакбаева, К.С. Исаева
МИКРОФЛОРА НАЦИОНАЛЬНЫХ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИДОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЗАКВАСКИ ДЛЯ БАРАНИНЫ…… 436

М. Іліясқызы, **Я.М. Узаков**, **Л.А. Каимбаева**, **Ш.Ы. Кененбай**, **Э.К.Асембаева**
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РОЗМАРИНА НА СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА И ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛУКОПЧЕНЫХ КОЛБАС ИЗ КОНИНЫ…….. 448

С.С. Толеубекова, Ә.Е. Әліпов, Д.С. Свидерская, Г.Т. Юсупова, Ж.К. Шадьярова
ФУНКЦИОНАЛДЫ МАҚСАТТАҒЫ ГРЕК ЙОГУРТЫНЫҢ ОРГАНОЛЕПТИКАЛЫҚ, ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН БАҒАЛАУ..... 457

Ж.Х. Какимова, К.С. Жарыкбасова, А.Е. Бепеева, Г.О. Мирашева, Г.Ш. Бейсембаева
ПОСТБИОТИЧЕСКИЕ ПРОДУЦЕНТЫ ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ…….. 463

ТЕХНИКАЛЫҚ ФИЗИКА ЖӘНЕ ЖЫЛУЭНЕРГЕТИКАСЫ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

А. Шонғалова, Е. Отунчи, Е. Дмитриева, А. Умирзаков, А. Кемелбекова
MOS_2 ЖӘНЕ НИКЕЛЬМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН КОМПОЗИТТІК КРИСТАЛДАРЫН АЛУ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ…… 473

L.G. Sulyubayeva, N.E. Berdimuratov, T. Alimbekuly
STUDY OF THE DIFFUSION ELECTROLYTE PLASMA TREATMENT EFFECT ON THE TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF 40Kh STEEL…… 481

Y. Kambarov
EFFECT OF SPRAYING REGIME AND VACUUM ANNEALING ON THE MICROSTRUCTURE AND WEAR RESISTANCE OF PLASMA-SPRAYED COCRFENIMN HIGH ENTROPY COATINGS…… 490

Н.Н. Кусбергенова, В. Мукамеденқызы
ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРА МЕН ЖЫЛУЛЫҚ СӘУЛЕЛЕНУ ЖАҒДАЙЫНДА ЖЕКЕ ҚОРҒАНЫС ҚҰРАЛДАРЫНЫҢ ТИІМДІЛІГІН ЖЫЛУФИЗИКАЛЫҚ БАҒАЛАУ..... 497

L.G. Sulyubayeva, A. Maulet, B.A. Alibekova, A.E. Alibekov
STUDY OF THE STRUCTURAL-PHASE STATE AND MECHANICAL-TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL STEELS AFTER PLASMA ELECTROLYTIC CARBURIZING…… 505

А.Ж. Миниязов, М.Қ. Сқақов, Н.М. Мұхамедова, О. Өкен, М.Е. Скопченко
ҰШҚЫН ПЛАЗМАЛЫҚ ПІСІРУ ӘДІСІМЕН $LANI_5$ НЕГІЗІНДЕГІ СУТЕГІ САҚТАУ МАТЕРИАЛЫН АЛУ.. 515

Л.С. Баймолданова, А.Д. Погребняк, М.Б. Баяндинова, Р.Е. Сакенова
СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НАНОСЛОИСТЫХ ПОКРЫТИЯХ (TIALSIY)N/CRN ПОСЛЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНАМИ ЗОЛОТА…….. 525

ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А.Д. Белгібаева, Э.К. Нургазиева, Г.С. Калимулдина, А.А. Нурпейсова
СИНТЕЗ ШАРТТАРЫНЫҢ ҚАЛАЙЫ ФОСФИД/ФОСФАТЫ НЕГІЗІНДЕГІ КӨМІРТЕКТІ КОМПОЗИТТІК НАНОТАЛШЫҚТАРДЫҢ КРИСТАЛДЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН МОРФОЛОГИЯСЫНА ӘСЕРІ..... 534

Р.А. Аубакирова, Н.В. Серая, Г.К. Даумова, Ш.К. Саньязова
ТАЙЖУЗГЕН КЕН ОРНЫНЫҢ МЕХАНИКАЛЫҚ БЕЛСЕНДІРІЛГЕН ЦЕОЛИТІНІҢ СОРБЦИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ..... 541

Н.А. Шадин, Е. Тілеуберді, А.Н. Айтуған, Ж.С. Мукатаева, Н.Н. Нургалиев
БИЦЕОЛИТНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МОНТМОРИЛЛОНИТА: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ…….. 553

Ж.М. Мылтықбаева, Д. Мұқталы, Е.И. Иманбаев, А. Абылайхан, Б.Х. Мусабаева
ФОТОКАТАЛИТИКАЛЫҚ СУТЕГІ ТҮЗІЛУ ПРОЦЕСІНДЕГІ КАТАЛИЗАТОРЛАР ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ 564

С.К. Танирбергенова, А.Ж Тагаева, Д.А. Тугелбаева, Н.К. Жылыбаева, З.А. Мансуров
МҰНАЙ ШЛАМДАРЫН ҚАЙТА ӨҢДЕУ ПРОЦЕСІНЕ УЛЬТРАДЫБЫСТЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ..... 573

С.К. Танирбергенова, З.А. Мансуров, З. Инсепов, Б.Т. Лесбаев, А.Ө. Әкімбек
МОНАЦИТ ҚҰРАМЫНДАҒЫ ТОРИЙ ҚАЛДЫҚТАРЫН ЭНЕРГЕТИКА САЛАСЫНДА ПАЙДАЛАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ…… 581

Б.Қ. Қасенов, Ш.Б. Қасенова, Ж.И. Сағынтаева, Е.Е. Қуанышбеков, М.А. Исабаева
$LaLi_2CuVMnO_{7.5}$ КУПРАТ-ВАНАДАТ-МАНГАНИТІНІҢ СИНТЕЗІ, РЕНТГЕНОГРАФИЯСЫ ЖӘНЕ ТЕРМОДИНАМИКАСЫ..... 593

Т. Сарсембеков, Т. Чепуштанова, Е. Меркибаев, Т. Янко, А. Золотов
ВЫДЕЛЕНИЕ НИОБИЯ ИЗ ПРОМПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА ТЕТРАХЛОРИДА ТИТАНА…… 604

А.Т. Табынбаева, М.Е.Сулейменова, К.Т. Тастамбек, Н.Ш. Акимбеков, Ж.Т. Тауанов
МХЕNЕ ЖӘНЕ НАНОЦЕЛЛЮЛОЗАНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ ЖӘНЕ ҚОЛДАНУ ӘЛЕУЕТІ.. 612

R.N. Tuleyeva, N.N. Gizatullina, R.A. Turganova, A.M. Belkozhayev, G.Toleutay
POLYSACCHARIDE-BASED BIOPLASTICS FOR SUSTAINABLE PACKAGING: ROLE OF NONCOVALENT INTERACTIONS AND TRANSESTERIFICATION…….. 623

М. Әліпұлы, Қ. Асқаруұлы, Қ. Тоштай, Н.Н. Нұрғалиев, С.Азат
КРЕМНИЙДІ (SIO_2/SIOX/SI) ӘРТҮРЛІ ӘДІСТЕРМЕН ЕНГІЗУ АРҚЫЛЫ МХЕNЕ АРҚЫЛЫ АЛЫНҒАН МАТЕРИАЛДАРДЫ МОДИФИКАЦИЯЛАУ: СИНТЕЗ ӘДІСТЕРІН ЖӘНЕ БАЛАМА БЕТТІК МОДИФИКАЦИЯЛАРДЫ ӘЗІРЛЕУ..... 634

АВТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН ЕРЕЖЕ..... 647

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ…… 652

RULES FOR AUTHORS…… 657

Басуға жіберілген күні 30.09.2025 ж. Пішімі 60х84 1/8
Шартты баспа табағы 41,6
Таралымы 100 дана. Бағасы келісімді.

Техникалық редакторы: Е.П. Евлампиева, З.Т. Семейская
Безендіруші: С.Т. Мырзабеков

Журнал Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің
Ақпарат комитетінде тіркелген
Есепке қою туралы куәлік № KZ93VPY00033663 19.03.2021 ж.

Жылына 4 рет шығады

Құрылтайшысы: «Шәкәрім университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғам

Шәкәрім университетінің
баспаханасында басылды

Редакцияның мекен-жайы: 071412, Абай облысы,
Семей қаласы, ул. Глинки, 20 А
Тел.: +7 (7222) 31-32-49, эл.почта: rio@ shakarim.kz