



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

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



**ШӘКӘРІМ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
Х А Б А Р Ш Ы С Ы  
ТЕХНИКА ҒЫЛЫМДАР  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛ**

---

**В Е С Т Н И К  
УНИВЕРСИТЕТА ШАКАРИМА  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ  
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

---

**B U L L E T I N  
OF SHAKARIM UNIVERSITY  
TECHNICAL SCIENCES  
SCIENTIFIC JOURNAL**

**№ 3 (15) 2024**

**Семей, 2024**

**Ғылыми журнал**  
**«Шәкәрім Университетінің Хабаршысы»**  
**Техникалық ғылымдар сериясы»**

№ 3 (15) 2024

**Меншік иесі:**

«Семей қаласының Шәкәрім атындағы 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, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы 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, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы 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 агробιοтехнологиялық 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, Челябині қ.)

**Узаков Ясин Маликович** – техника ғылымдарының докторы, Алматы технологиялық университетінің профессоры, (Қазақстан, Алматы қ.)

**Хуторянский Виталий Викторович** – профессор, Реддинг университеті (Ұлыбритания, Реддинг 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)

**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@semgu.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.

© «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғам, 2024

# Научный журнал «Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки»

№ 3 (15) 2024

## Собственник:

Некоммерческое акционерное общество «Университет имени Шакарима города Семей»

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 «Университет имени Шакарима города Семей» (Казахстан, г. Семей)

**Виелеба Войтек** – доктор технических наук, профессор, Вроцлавский университет науки и технологии (Польша, г. Вроцлав)

**Дворцовой Александр Игоревич** – кандидат технических наук, доцент, Новосибирский государственный технический университет (Россия, г. Новосибирск)

**Какимов Айтбек Калиевич** – доктор технических наук, профессор, НАО «Университет имени Шакарима города Семей» (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-исследовательского 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)

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@semgu.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 «Университет имени Шакарима города Семей», 2024

**Scientific journal**  
**«Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences»**

---

№ 3 (15) 2024

---

**Owner:**

Non-profit Joint Stock Company «Shakarim University of Semey»

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 of Semey» (Kazakhstan, Semey)

**Wieleba Wojciech** – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Wroclaw University of Science and Technology (Poland, Wroclaw)

**Kakimov Aitbek** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the NJC «Shakarim University of Semey», (Kazakhstan, Semey)

**Dvortsevoy Alexander Igorevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Novosibirsk State Technical University (Russia, Novosibirsk)

**Lobsenko 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)

**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@semgu.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 of Semey», 2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-1](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-1)

МРНТИ: 81.93.29



**А.Р. Ерболулы\*, К.Б. Тусупова**

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71

\*e-mail: roma43529@gmail.com

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО ЗАВТРА: ВЫВОДЫ ИЗ АНАЛИЗА ВЕДУЩИХ КИБЕРАТАК И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЗАЩИТУ ИНФОРМАЦИИ

**Аннотация:** В современном мире, где цифровизация и всеобщая связность играют ключевую роль, вопросы кибербезопасности выходят на передний план в контексте глобальной безопасности. С ростом зависимости от цифровых технологий, киберпространство продолжает эволюционировать, представляя всё новые угрозы и вызовы. Данная статья фокусируется на анализе крупных атак на сетевую инфраструктуру, произошедших в последние годы, исследуя разнообразные типы атак, такие как DDoS, APT, ransomware, Man-in-the-Middle (MitM) и SQL Injection. Основное внимание уделяется выявлению общих паттернов атак и методик защиты, что позволяет лучше понять механизмы и стратегии противодействия киберугрозам. Статья детально рассматривает различные инструменты и методы анализа трафика, применяемые для обнаружения и нейтрализации угроз, анализирует их эффективность в реальных условиях. С помощью включенных гистограмм, диаграмм и таблиц, статья визуализирует данные и тренды, что способствует лучшему пониманию сложности и динамики кибератак. На основе проведенного анализа формулируются рекомендации по улучшению стратегий киберзащиты и разработке новых подходов к обеспечению безопасности в цифровом мире, что является критически важным для защиты ценных информационных активов и поддержания устойчивости киберпространства.

**Ключевые слова:** Кибербезопасность, кибератаки, автоматизация обнаружения угроз, прогнозирование кибератак, защита от вредоносных программ.

### Введение

В последние годы мир стал свидетелем беспрецедентного роста киберугроз, которые оказывают значительное влияние на бизнес, правительства и жизнь обычных людей. Кибератаки становятся всё более изощренными и масштабными, что подчёркивает критическую необходимость защиты информационной инфраструктуры [1]. Среди наиболее значимых угроз выделяются DDoS-атаки [2], которые могут парализовать деятельность крупных онлайн-сервисов, APT (Advanced Persistent Threats) – продолжительные целенаправленные атаки [3], часто государственно поддерживаемые, а также атаки с использованием ransomware, которые блокируют доступ к важнейшим данным до выплаты выкупа [4]. Анализ таких инцидентов и методов их обнаружения и предотвращения становится неотъемлемой частью стратегии кибербезопасности. От понимания того, как были организованы атаки и какие инструменты использовались для защиты, зависит не только непосредственное реагирование на инциденты, но и планирование мер профилактики на будущее. В этой статье мы рассмотрим ряд крупнейших атак на сети, проанализируем использованные методы обеспечения сетевой безопасности и оценим эффективность существующих инструментов анализа трафика.

### Материалы и методы.

В последние десять лет мир столкнулся с рядом масштабных кибератак, которые значительно повлияли на информационную безопасность государств, компаний и индивидуальных пользователей (рис. 1). С 2020 года мир кибербезопасности столкнулся с

рядом выдающихся атак, каждая из которых выделяется уникальными методами внедрения и разрушительным воздействием. Вот несколько примеров значимых кибератак, произошедших с 2020 года:

1. SolarWinds (2020): Эта кибератака, предположительно осуществленная российской хакерской группой, привлекла внимание мировой общественности из-за своего масштаба и сложности. Вредоносное ПО было внедрено в обновления программного обеспечения Orion Platform компании SolarWinds, что позволило злоумышленникам получить доступ к сетям тысяч организаций, включая федеральные агентства США и крупные корпорации [5].
2. Microsoft Exchange Server Hafnium (2021): В начале 2021 года были обнаружены четыре уязвимости в серверах Microsoft Exchange, которые активно эксплуатировались китайской хакерской группой Hafnium. Эти уязвимости позволили атакующим удаленно устанавливать вредоносное ПО и красть данные с серверов организаций по всему миру [6].
3. Colonial Pipeline (2021): В мае 2021 года группа киберпреступников DarkSide осуществила атаку ransomware на Colonial Pipeline, крупнейшую трубопроводную систему в США. Атака привела к временной остановке всех операций, серьезным перебоям в поставках топлива на Восточном побережье США и выплате выкупа в размере 4,4 миллиона долларов [7].
4. Kaseya VSA (2021): В июле 2021 года REvil, ещё одна известная группа, использующая ransomware, атаковала программное обеспечение для удаленного мониторинга и управления Kaseya VSA. Атака затронула сотни компаний по всему миру, включая множество малых предприятий, которые используют услуги управляемых поставщиков услуг [8].
5. Facebook Data Leak (2021): В апреле 2021 года данные 533 миллионов пользователей Facebook из 106 стран стали доступны онлайн. Утечка включала личную информацию, такую как номера телефонов, даты рождения, и местоположения. Хотя данные были получены в результате уязвимости, которая была устранена ещё в 2019 году, последствия утечки ощущаются до сих пор [9].

Эти случаи еще раз подчеркивают критическую важность регулярного обновления и укрепления систем киберзащиты, а также подтверждают необходимость всестороннего подхода к обеспечению безопасности цифровой инфраструктуры.

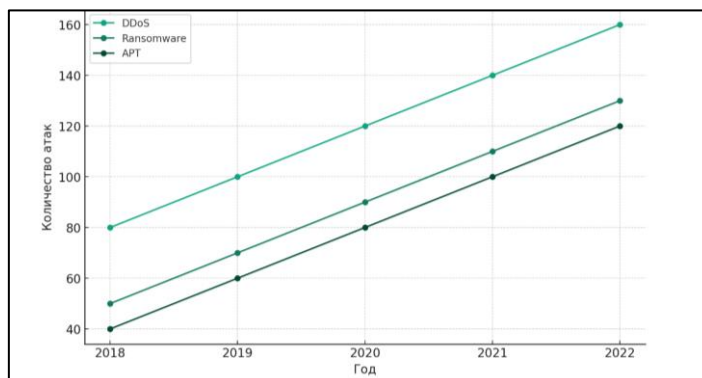


Рисунок 1 – Линейный график прирост атак с 2018 по 2022 годы

На рисунке 1 представлен линейный график иллюстрируется временная динамика атак трёх типов – DDoS, Ransomware и APT – за период с 2018 по 2022 годы. Как видно, количество атак каждого типа растёт со временем, что подчеркивает увеличение активности и сложности киберугроз. Этот график помогает анализировать тенденции развития угроз и оценивать эффективность внедрённых мер безопасности со временем [10].

Кибератака представляет собой попытку несанкционированного проникновения, нарушения или использования компьютерных систем, инфраструктуры, сетей или личных данных [11]. С ростом числа подключенных устройств и объемов цифровых данных, кибератаки становятся всё более сложными и разнообразными, что увеличивает риски для как частных лиц, так и для организаций. Кибербезопасность, в свою очередь, включает в себя стратегии, технологии и процессы, разработанные для защиты сетей, устройств, программ и данных от атак или несанкционированного доступа. Эффективная кибербезопасность требует комплексного подхода, включающего физическую безопасность, программное обеспечение, а также обучение сотрудников основам безопасного поведения в сети.

Обеспечение кибербезопасности остаётся критически важным аспектом для всех организаций, учитывая разнообразие и постоянное развитие кибератак. Вот обзор основных типов кибератак, с которыми сталкиваются современные организации:

**DDoS** (Distributed Denial of Service) атаки продолжают оставаться одной из самых популярных и разрушительных форм кибератак. Эти атаки осуществляются путём захвата и использования огромного числа интернет-подключённых устройств для отправки колоссального количества трафика к целевым серверам, что приводит к их перегрузке и невозможности обрабатывать законные запросы (табл. 1) [12].

Таблица 1 – DDoS атаки и методы обнаружения и защиты

Примеры крупных DDoS атак					
<b>DDoS атаки</b>	Атака на Dyn (2016): Эта масштабная DDoS атака использовала ботнет Mirai, состоящий из миллионов зараженных IoT устройств, для нападения на DNS провайдера Dyn. Это привело к значительным сбоям в работе крупнейших веб-сайтов, таких как Twitter, Spotify и Netflix [13].	Атака на GitHub (2018): GitHub столкнулся с самой масштабной DDoS атакой в своей истории, пиковый трафик которой достигал 1.35 Тбит/с. Атака была осуществлена с использованием метода усиления через Memcached сервера, что увеличило объем атакующего трафика [14].	Атака на Amazon Web Services (2020): В феврале 2020 года AWS отразила DDoS атаку с трафиком в 2.3 Тбит/с, что стало одной из самых мощных атак в истории. Атака была направлена на сверхувеличение трафика с помощью отражения и усиления через сторонние сервера [15].		
	Методы обнаружения и защиты				
	Мониторинг трафика	Сетевые снифферы и IDS	Митигация на основе границ сети	Облачные защитные услуги	Распределенная защита

Эти методы и инструменты являются ключевыми в современной стратегии защиты от DDoS атак, помогая организациям защищать свои сети и сервисы от возрастающей угрозы кибератак.

**APT** (Advanced Persistent Threat) обозначает продвинутые устойчивые угрозы, которые представляют собой целенаправленные атаки, часто спонсируемые государствами и направленные на длительное и скрытое проникновение в информационные системы высокозначимых целей, таких как правительственные учреждения, военные объекты и крупные корпорации. Эти атаки характеризуются высокой сложностью и тщательным планированием (табл. 2) [16].

Таблица 2 – Кейс-стади по крупным APT атакам

Примеры крупных APT атак			
<b>APT атаки</b>	Stuxnet. Хотя это и более ранняя атака, Stuxnet является одной из наиболее известных APT из-за своей специфики и масштаба. Этот вирус был направлен против иранской ядерной программы и специально разработан для атаки на ПЛК Siemens, управляющие центрифугами для обогащения урана [17].	Атаки группы APT28/Fancy Bear. APT28, связываемая с российским правительством, использовала методы фишинга для получения доступа к сетям, что привело к значительным политическим последствиям и публичному разоблачению важных документов [18].	SolarWinds (2020): Эта кампания, как упоминалось, связана с российскими хакерскими группами и включала внедрение вредоносного кода в обновления программного обеспечения SolarWinds, что позволило атакующим необнаруженно проникнуть в сети тысяч организаций [5].
	Методы обнаружения и защиты		
	Сетевой мониторинг	Анализ поведения	Ответ на инциденты

Эффективное использование IDS и IPS в сочетании с комплексной стратегией безопасности помогает защитить организации от продвинутых угроз, таких как APT, обеспечивая глубокий уровень наблюдения и контроля за сетевой активностью.



*Ransomware* (вымогательское ПО) – это тип вредоносного программного обеспечения, которое блокирует доступ к системам или данным жертвы и требует выплаты выкупа за их восстановление. Эти атаки могут серьезно повлиять на операционную деятельность, финансовое состояние и репутацию организаций (табл. 3). В последние годы ransomware стал основной угрозой для крупных организаций во всем мире [4].

Таблица 3 – Примеры крупных Ransomware атак

Примеры крупных Ransomware атак					
Ransomware	Colonial Pipeline (2021): Одна из самых крупных трубопроводных компаний США была вынуждена временно прекратить работу из-за атаки ransomware, что привело к серьезным перебоям в поставках топлива на Восточном побережье США. Компания заплатила выкуп в размере 4.4 миллиона долларов, чтобы восстановить доступ к своим системам [7].	JBS S.A. (2021): Крупнейший в мире производитель мяса, компания JBS S.A., стала жертвой атаки ransomware, которая привела к остановке производства в США и Австралии. Компания заплатила выкуп в размере 11 миллионов долларов для предотвращения утечки данных и восстановления операционной деятельности.	Kaseya VSA (2021): Через программное обеспечение для удаленного управления Kaseya VSA была проведена атака, затрагивающая сотни конечных пользователей, включая множество малых и средних предприятий. REvil, группа стоящая за атакой, потребовала \$70 миллионов за дешифратор [8].		
	Методы обнаружения и защиты				
	Образование и обучение сотрудников	Резервное копирование данных	Использование передовых антивирусных решений и EDR	Патч-менеджмент	Инцидентный ответ и план восстановления

Применение этих методов позволяет не только обнаруживать и предотвращать атаки ransomware, но и эффективно реагировать на них, сокращая возможный ущерб и обеспечивая защиту критически важной информации.

### Результаты и обсуждение

Методы анализа трафика и обеспечения безопасности сети включают широкий спектр технологий и практик, которые помогают организациям защитить свои сетевые активы от внешних и внутренних угроз (рис. 2) [19]. Они позволяют не только обнаруживать и реагировать на атаки, но и предотвращать их.

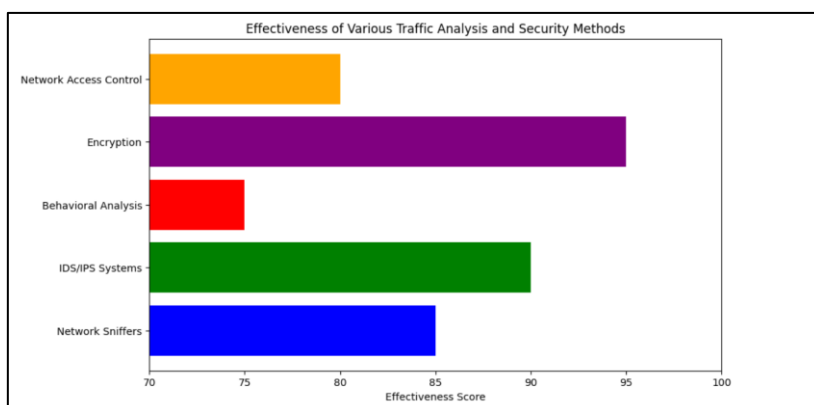


Рисунок 2 – Распределение различных методов анализа трафика и обеспечения безопасности

*Сетевые снифферы* (или анализаторы трафика) – это инструменты, предназначенные для перехвата и анализа сетевого трафика. Они позволяют администраторам сетей и специалистам по безопасности видеть, что происходит в сети в режиме реального времени или из архивированных данных [14]. Эти инструменты могут быть использованы для

мониторинга, диагностики сетевых проблем, анализа производительности сети, а также для обнаружения и расследования подозрительной или вредоносной активности.

Примеры использования сетевых снифферов:

- Обнаружение вторжений и аномалий: Снифферы могут обнаруживать необычные изменения в трафике, такие как резкие увеличения активности, необычные запросы или трафик, исходящий из неожиданных источников. Это может указывать на наличие вредоносных программ, атак на сеть или другие угрозы.
- Отладка сетевых проблем: Снифферы позволяют анализировать трафик и определять проблемы, такие как потери пакетов, задержки или проблемы с протоколами. Это помогает в устранении проблем с производительностью и доступностью сетевых ресурсов.
- Проверка политик безопасности: С помощью снифферов можно проверять, соответствует ли сетевой трафик установленным политикам безопасности. Например, можно проверить, не передаются ли через сеть незашифрованные пароли или другие чувствительные данные.
- Регуляторное соблюдение: В некоторых отраслях действуют строгие требования к мониторингу и архивации сетевого трафика. Снифферы могут помочь организациям соблюдать эти требования, предоставляя необходимые данные и отчеты.

Возможности сетевых снифферов:

- Глубокий анализ пакетов: Современные снифферы могут проводить глубокий анализ пакетов, изучая детали на уровне отдельных битов и байтов. Это позволяет точно определить содержание и происхождение трафика.
- Фильтрация и сортировка: Снифферы обычно предоставляют широкие возможности для фильтрации и сортировки трафика по различным параметрам, таким как IP-адреса, порты, протоколы и т.д. Это помогает быстро находить интересующую информацию в больших объемах данных.
- Интеграция с другими инструментами: Многие снифферы можно интегрировать с другими инструментами безопасности, такими как системы предотвращения вторжений (IPS), системы управления и анализа событий безопасности (SIEM) и инструменты автоматизации, что улучшает общую эффективность системы безопасности.
- Визуализация: Современные решения предоставляют возможности визуализации трафика, которые помогают визуально анализировать паттерны и тенденции, делая анализ более наглядным и понятным.

Сетевые снифферы являются мощным инструментом в арсенале специалиста по кибербезопасности, обеспечивая важные данные и аналитику для поддержания безопасности и стабильности сетевых сред [20].

*IDS (Intrusion Detection System)* и *IPS (Intrusion Prevention System)* являются ключевыми компонентами в инфраструктуре сетевой безопасности. *IDS* предназначены для обнаружения и предупреждения о потенциальных атаках, в то время как *IPS* не только обнаруживает угрозы, но и активно вмешивается, чтобы предотвратить выполнение вредоносных действий. Обе системы играют важную роль в защите сетей от широкого спектра угроз, от DDoS-атак до сложных APT.

Примеры реализации IDS/IPS:

- Cisco IPS 4200 Series: Эти устройства используются во многих крупных организациях для защиты корпоративных сетей. Cisco IPS обеспечивает предотвращение вторжений в реальном времени, используя глубокий анализ пакетов и сигнатурный подход к обнаружению угроз. Эффективность таких систем подтверждается их способностью быстро адаптироваться к новым угрозам с помощью регулярно обновляемых сигнатур.
- Snort: Это одна из наиболее популярных систем обнаружения вторжений с открытым исходным кодом. Snort можно настроить как *IDS* или *IPS* и использовать для анализа трафика в реальном времени и обнаружения подозрительной активности по сигнатурам и аномальным поведением. Благодаря своей гибкости и широкой базе пользователей, Snort обладает большой базой данных сигнатур и широким сообществом, которое постоянно разрабатывает новые правила и обновления.
- Palo Alto Networks Next-Generation Firewalls: Эти современные брандмауэры включают в себя функционал *IPS* и предлагают интегрированную защиту от множества угроз. Они способны анализировать содержимое трафика, чтобы обнаруживать и предотвращать атаки

на приложения, эксплойты, вирусы и спайвэр. Palo Alto Firewalls также используют машинное обучение для повышения точности и эффективности в обнаружении угроз.

Эффективность систем IDS/IPS зависит от ряда факторов, включая:

- Актуальность сигнатур: Системы должны регулярно обновляться, чтобы отражать новейшие угрозы и эксплойты. Задержки в обновлениях могут оставить сеть уязвимой для недавно разработанных атак.
- Настройка и тонкая настройка: Эффективность IDS/IPS значительно увеличивается с правильной настройкой и тонкой настройкой правил, что позволяет минимизировать ложные срабатывания и пропустить реальные угрозы.
- Интеграция с другими системами безопасности: IDS/IPS, интегрированные с другими системами безопасности, такими как SIEM и EDR, могут обеспечить более комплексную защиту, позволяя лучше анализировать и реагировать на угрозы.

В целом, IDS и IPS являются жизненно важными элементами в обеспечении защиты сетей, предоставляя слой безопасности, который помогает предотвращать, обнаруживать и реагировать на разнообразные угрозы в режиме реального времени [21].

Системы управления сетевой безопасностью представляют собой комплексные платформы, включающие в себя различные инструменты и методы для обеспечения безопасности сетевых операций. Эти системы позволяют централизованно управлять безопасностью, обеспечивать соблюдение нормативных требований и защищать сеть от внутренних и внешних угроз. Они обычно включают функции обнаружения и предотвращения вторжений, управления уязвимостями, мониторинга трафика и реагирования на инциденты.

Обзор ключевых инструментов и методов в системах управления сетевой безопасностью:

- Firewall Management: Управление брандмауэрами включает настройку и поддержку правил фильтрации трафика, которые контролируют входящие и исходящие соединения через сетевые точки доступа. Современные брандмауэры также могут выполнять глубокий анализ пакетов и распознавание приложений для более тонкой настройки правил безопасности.
- Intrusion Detection and Prevention Systems (IDS/IPS): Эти системы являются неотъемлемой частью сетевого мониторинга, обеспечивая обнаружение аномальных активностей и автоматическое прекращение вредоносных операций. IDS/IPS могут быть интегрированы с другими системами безопасности для усиления реакции на угрозы.
- Data Loss Prevention (DLP): Системы DLP предотвращают потерю или утечку конфиденциальной информации. Они контролируют данные, пересекающие границы сети, и могут блокировать передачу чувствительной информации на основе политик безопасности.
- Security Information and Event Management (SIEM): SIEM объединяет и анализирует логи и данные с различных источников безопасности в реальном времени для обнаружения аномалий, управления инцидентами и создания отчетов. SIEM позволяет видеть большую картину сетевой безопасности, облегчая принятие своевременных мер.

Эффективность систем управления сетевой безопасностью.

Эффективность систем управления сетевой безопасностью во многом зависит от их способности интегрироваться с существующей инфраструктурой, адаптивности к новым угрозам и легкости управления. Интеграция различных инструментов безопасности в единую систему позволяет более эффективно контролировать безопасность, быстро реагировать на инциденты и поддерживать высокий уровень защиты персональных данных и корпоративных ресурсов. Системы должны постоянно обновляться и модернизироваться для соответствия текущим угрозам и обеспечения соответствия нормативным требованиям [22].

Анализ распределения кибератак по странам показывает, что не только традиционно технологически развитые страны, такие как США, Китай и Германия, подвергаются атакам, но и страны с бурно развивающимися цифровыми инфраструктурами, такие как Казахстан, становятся мишенями для киберпреступников (рис. 4). В последние годы Казахстан испытал увеличение числа кибератак, что подчеркивает необходимость усиления мер безопасности на национальном уровне. Это распределение подсказывает, что киберугрозы являются глобальной проблемой, требующей координированных усилий международного сообщества для разработки эффективных стратегий защиты и реагирования.

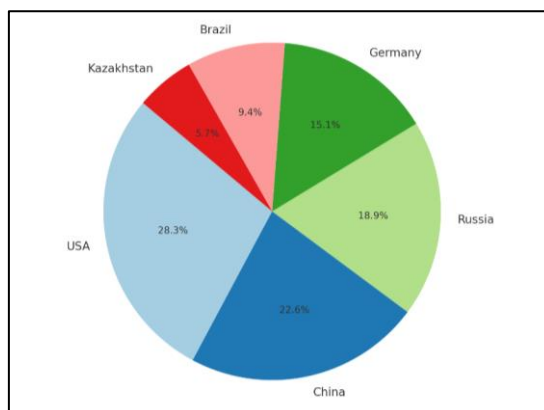


Рисунок 4 – Диаграмма распределение атак по странам

На представленной круговой диаграмме показано распределение кибератак по странам. США возглавляют список с наибольшим количеством инцидентов, за ними следуют Китай, Россия, Германия, Бразилия и Казахстан. Эта диаграмма помогает визуализировать, какие страны наиболее подвержены кибератакам, что может указывать на географические "горячие точки" киберактивности и потребность в укреплении мер безопасности в этих регионах. Это помогает лучше понимать географический спектр киберугроз и определять регионы, нуждающиеся в усиленной киберзащите [23].

Экономический ущерб от кибератак может быть значительным и оказывать длительное воздействие на пострадавшие организации и экономики в целом. Атаки типа ransomware, например, могут привести к потере критически важных данных и длительным перебоям в работе, что в свою очередь приводит к значительным финансовым потерям и ущербу для репутации компаний. Кроме прямых потерь, таких как выплата выкупов или восстановление систем, компании также сталкиваются с косвенными издержками, включая штрафы за нарушение нормативных требований, судебные иски и утрату доверия клиентов. В глобальном масштабе, затраты на борьбу с киберпреступностью и меры предосторожности продолжают расти, что подчеркивает критическую необходимость инвестиций в эффективные системы кибербезопасности для предотвращения и смягчения последствий таких атак.

На диаграмме (рис. 5) представлен экономический ущерб от атак типов DDoS, Ransomware и APT в различных секторах, таких как финансы, здравоохранение, технологии, производство и образование. Эти данные помогают оценить финансовые последствия кибератак и определить приоритеты в защите критически важных секторов экономики. Как видно, финансовый сектор и здравоохранение понесли наибольший ущерб от атак типа Ransomware, что подчеркивает необходимость особенно тщательной защиты этих сфер. В то время как атаки типа APT также значительно затрагивают технологический сектор, подчеркивая их целенаправленный и разрушительный характер [24].

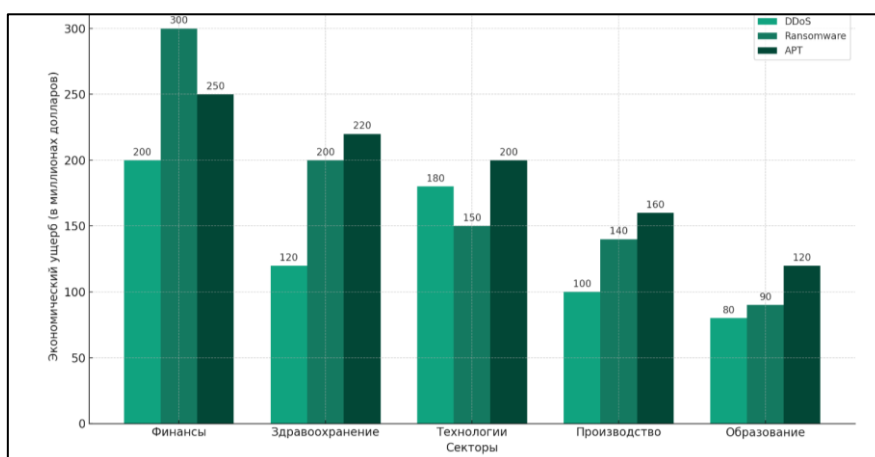


Рисунок 5 – Экономический ущерб от атак

Экономический ущерб от кибератак продолжает расти, поскольку всё больше бизнес-процессов переходит в цифровое пространство. Затраты на восстановление после атак включают не только непосредственное восстановление данных и систем, но и потери от простоев, когда ключевые бизнес-операции оказываются парализованными. Компании сталкиваются с дополнительными расходами на юридические услуги и консультации по управлению кризисными ситуациями, а также могут нести значительные издержки в связи с необходимостью уведомления клиентов о нарушениях безопасности и защиты их от возможного мошенничества. Долгосрочные последствия включают ущерб для бренда и потерю доверия со стороны клиентов, что может серьезно снизить рыночную стоимость компании. По этим причинам предприятиям крайне важно инвестировать в профилактические меры и стратегии быстрого реагирования на инциденты кибербезопасности.

Исходя из визуализированных данных и представленных графиков о крупнейших кибератаках, можно сделать несколько ключевых выводов относительно текущих трендов в сфере кибербезопасности и общей динамики угроз. Эти выводы помогают понять, какие аспекты требуют особого внимания со стороны организаций и государственных структур.

1. Увеличение числа и сложности кибератак: Линейный график временной динамики атак показывает постоянный рост количества атак типов DDoS, Ransomware и APT. Это свидетельствует о том, что киберпреступники становятся более изощренными и их методы более разнообразными.

2. Распределение уязвимостей по секторам: Тепловая карта уязвимостей выявила наиболее часто эксплуатируемые уязвимости в различных секторах. Например, финансовый сектор особенно уязвим для атак типа Credential Stuffing и SQL Injection, что подчеркивает необходимость усиления защиты данных в этой отрасли.

3. Секторальные финансовые потери: Столбчатая диаграмма потерь показала, что финансовый ущерб от кибератак наиболее значителен в секторах финансов и здравоохранения. Это указывает на высокую стоимость восстановления и потерь данных для этих секторов, а также потенциальное воздействие на общественное благосостояние.

4. Географические «горячие точки»: Диаграмма распределения атак по странам показывает, что некоторые страны, включая США и Китай, испытывают значительно большее число атак. Это может быть связано с большей цифровизацией их экономик и более высоким уровнем технологического развития.

## **Заключение**

Анализ данных о крупнейших кибератаках последних лет явно демонстрирует рост и эволюцию угроз в киберпространстве. В свете этих выводов, рекомендуется, чтобы организации и государственные институты уделили повышенное внимание разработке и реализации комплексных стратегий кибербезопасности. Это включает в себя усиление защиты критически важных инфраструктур, особенно в финансовом и здравоохранительном секторах, где последствия атак оказывают наибольшее влияние.

Следует акцентировать внимание на обучении персонала методам распознавания и предотвращения киберугроз, поскольку человеческий фактор остается одним из слабых звеньев в цепи кибербезопасности. Также важно улучшать международное сотрудничество в обмене информацией о киберугрозах и методах их нейтрализации, что поможет оперативно реагировать на новые угрозы и минимизировать их последствия.

Разработка и внедрение продвинутых технологических решений, таких как искусственный интеллект и машинное обучение для обнаружения и блокирования атак, также должны стать приоритетом. Эти технологии могут значительно повысить эффективность систем обнаружения и предотвращения вторжений, предоставляя более глубокий анализ и быстрое реагирование на инциденты кибербезопасности.

## **Список литературы**

1. Entanglement: cybercrime connections of a public forum population / Masarah Paquet-Clouston et al // Journal of Cybersecurity. – 2022. – Vol. 8, Issue 1. <https://doi.org/10.1093/cybsec/tyac010>.
2. Ali T.E. Machine Learning Techniques to Detect a DDoS Attack in SDN: A Systematic Review / T.E. Ali, Y.-W. Chong, S. Manickam // Appl. Sci. – 2023. – № 13(5). – P. 3183. <https://doi.org/10.3390/app13053183>.

3. Quintero-Bonilla S. A New Proposal on the Advanced Persistent Threat: A Survey // S. Quintero-Bonilla, A. Martín del Rey // Appl. Sci. – 2020. – № 10(11). – P. 3874. <https://doi.org/10.3390/app10113874>.
4. Alraizza A. Ransomware Detection Using Machine Learning: A Survey / A. Alraizza, A. Algarni // Big Data Cogn. Comput. – 2023. – № 7(3). – P. 143. <https://doi.org/10.3390/bdcc7030143>.
5. Coco A. Illegal: The SolarWinds Hack under International Law / A. Coco, T. Dias // European Journal of International Law. – 2022. – Vol. 33, Issue 4. – P. 1275-1286. <https://doi.org/10.1093/ejil/chac063>.
6. O'Neill P.H. How China's attack on Microsoft escalated into a «reckless» hacking spree. .Security experts warn Hafnium attacks are «highly reckless» and «dangerous» / P.H. O'Neill // MIT Technology Review. – 2021. <https://www.technologyreview.com/2021/03/10/1020596/how-chinas-attack-on-microsoft-escalated-into-a-reckless-hacking-spreel/>.
7. Parfomak P.W. Colonial Pipeline: The DarkSide Strikes. Colonial Pipeline: The DarkSide Strikes (congress.gov) / P.W. Parfomak, C. Jaikaran // Congressional Research Service. – 2021. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IN/IN11667>.
8. Brash R. Colonial Pipeline Attack: Lessons Learned for Ransomware Protection / R. Brash // Verve Industrial. – 2021. <https://verveindustrial.medium.com/colonial-pipeline-attack-lessons-learned-for-ransomware-protection-156bdd6961fa>.
9. Jee Ch. What you need to know about the Facebook data leak. Everything you need to know about the Facebook data leak / Ch. Jee // MIT Technology Review. – 2021. <https://www.technologyreview.com/2021/04/07/1021892/facebook-data-leak/>.
10. Next-generation cyber attack prediction for IoT systems: leveraging multi-class SVM and optimized CHAID decision tree / U.K. Lilhore et al // Journal of Cloud Computing. – 2023. – Vol. 12. – P. 137. <https://doi.org/10.1186/s13677-023-00517-4>.
11. Almansoori A. Exploring the Frontiers of Cybersecurity Behavior: A Systematic Review of Studies and Theories. / A. Almansoori, M. Al-Emran, Kh. Shaalan // Appl. Sci. – 2023. – № 13(9). – P. 5700. <https://doi.org/10.3390/app13095700>.
12. Adedeji K.B. DDoS Attack and Detection Methods in Internet-Enabled Networks: Concept, Research Perspectives, and Challenges / K.B. Adedeji, A.M. Abu-Mahfouz, A.M. Kurien // J. Sens. Actuator Netw. – 2023. – № 12(4). – P. 51. <https://doi.org/10.3390/jsan12040051>.
13. Wang C. The 2016 Dyn Attack and its Lessons for IoT Security. The 2016 Dyn Attack and its Lessons for IoT Security / C. Wang // MS&E 238 Blog (stanford.edu). – 2018. <https://mse238blog.stanford.edu/2018/07/clairerw/the-2016-dyn-attack-and-its-lessons-for-iot-security/>.
14. Smart Detection: An Online Approach for DoS/DDoS Attack Detection Using Machine Learning / Francisco Sales de Lima Filho et al // Hindawi Security and Communication Networks. – 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1574749>.
15. Porter J. Amazon says it mitigated the largest DDoS attack ever recorded. Amazon says it mitigated the largest DDoS attack ever recorded / J. Porter // The Verge. – 2020. <https://www.theverge.com/2020/6/18/21295337/amazon-aws-biggest-ddos-attack-ever-2-3-tbps-shield-github-netscout-arbor>.
16. Zou Q. An Approach for Detection of Advanced Persistent Threat Attacks / Q/ Zou et al // Computer. – 2020. – Vol. 53, Issue 12. <https://doi.org/10.1109/MC.2020.3021548>.
17. Kushner D. The Real Story Of Stuxnet. The Real Story of Stuxnet / D. Kushner // IEEE Spectrum. – 2013. <https://spectrum.ieee.org/the-real-story-of-stuxnet>.
18. Tennessee A. Everything you need to know about the apt, fancy bear. TIR-20220718 Everything You Need to Know About the APT / A. Tennessee // Fancy Bear (avertium.com). – 2022. <https://otx.alienvault.com/pulse/63c500b4b4bc0829561a50cb>.
19. An autoML network traffic analyzer for cyber threat detection / A. Papanikolaou et al // Regular Contribution. – 2023. – Vol. 22. – P. 1511-1530. <https://doi.org/10.1007/s10207-023-00703-0>.
20. Anomaly Detection in Activities of Daily Living with Linear Drift / Ó. Belmonte-Fernández et al // Cogn Comput. – 2020. – № 12. – P. 1233-1251. <https://doi.org/10.1007/s12559-020-09740-6>.
21. Survey of intrusion detection systems: techniques, datasets and challenges / A. Khraisat et al // Cybersecurity. – 2019. – Vol. 2, № 20. <https://doi.org/10.1186/s42400-019-0038-7>.

22. Taherdoost H. Understanding Cybersecurity Frameworks and Information Security Standards – A Review and Comprehensive Overview / Hamed Taherdoost. (2022). // Electronics. – 2022. – № 11(14). – P. 2181. <https://doi.org/10.3390/electronics11142181>.
23. Bocharova M. How Digitalisation Became a Cyber Security Threat in Kazakhstan / M. Bocharova // A PROJECT OF THE INSTITUTE FOR WAR & PEACE REPORTING. – 2022. <https://cabar.asia/en/how-digitalisation-became-a-cyber-security-threat-in-kazakhstan>.
24. Anomaly Detection in Activities of Daily Living with Linear Drift / Ó. Belmonte-Fernández et al // Cogn Comput. 2020. – Vol. 12. – P. 1233-1251. <https://doi.org/10.1007/s12559-020-09740-6>.

**Ә.Р. Ерболұлы\*, К.Б. Түсіпова**

әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,  
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ, аль-Фараби даңғылы, 71  
\*e-mail: roma43529@gmail.com

### **ЕРТЕҢГІ КҮНДІ ҚАУІПСІЗ ЕТУ: ЖЕТЕКШІ КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫ ТАЛДАУДАН АЛЫНҒАН НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ АҚПАРАТТЫ ҚОРҒАУҒА ӘСЕРІ**

*Цифрландыру мен жалпыға ортақ байланыс шешуші рөл атқаратын қазіргі әлемде киберқауіпсіздік мәселелері жаһандық қауіпсіздік контекстінде алдыңғы қатарға шығады. Цифрлық тәуелділіктің артуымен киберкеңістік дамып, жаңа қауіптер мен қиындықтарды ұсынады. Бұл мақала DDoS, APT, ransomware, man-in-the-middle (MitM) және SQL Injection сияқты шабуылдардың әртүрлі түрлерін зерттей отырып, соңғы жылдары болған ірі желілік инфрақұрылымдық шабуылдарды талдауға бағытталған. Киберқауіптерге қарсы тұрудың механизмдері мен стратегияларын жақсы түсінуге мүмкіндік беретін шабуылдардың жалпы үлгілері мен қорғаныс әдістерін анықтауға баса назар аударылады. Мақалада қауіптерді анықтау және бейтараптандыру үшін қолданылатын трафикті талдаудың әртүрлі құралдары мен әдістері егжей-тегжейлі қарастырылады, олардың нақты әлемдегі тиімділігін талдайды. Қосылған гистограммалар, диаграммалар мен кестелер арқылы мақала кибершабуылдардың күрделілігі мен динамикасын жақсырақ түсінуге ықпал ететін деректер мен трендтерді визуализациялайды. Жүргізілген талдау негізінде киберқауіпсіздік стратегияларын жақсарту және цифрлық әлемде қауіпсіздікті қамтамасыз етудің жаңа тәсілдерін әзірлеу бойынша ұсыныстар тұжырымдалады, бұл құнды ақпараттық активтерді қорғау және киберкеңістіктің тұрақтылығын сақтау үшін маңызды болып табылады.*

**Түйін сөздер:** Киберқауіпсіздік, кибершабуылдар, қауіпті анықтауды автоматтандыру, кибершабуылдарды болжау.

**A.R. Yerboluly\*, T.K. Tusipova**

Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty  
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, 71 Al-Farabi Avenue  
\*e-mail: roma43529@gmail.com

### **ENSURING A SAFE TOMORROW: CONCLUSIONS FROM THE ANALYSIS OF THE LEADING CYBER ATTACKS AND THEIR IMPACT ON INFORMATION SECURITY**

*In today's world, where digitalization and universal connectivity play a key role, cybersecurity issues are coming to the fore in the context of global security. With increasing dependence on digital technologies, cyberspace continues to evolve, presenting new threats and challenges. This article focuses on the analysis of major attacks on network infrastructure that have occurred in recent years, exploring various types of attacks such as DDoS, APT, ransomware, Man-in-the-Middle (MitM) and SQL Injection. The main focus is on identifying common attack patterns and protection techniques, which allows for a better understanding of the mechanisms and strategies for countering cyber threats. The article examines in detail the various tools and methods of traffic analysis used to detect and neutralize threats, analyzes their effectiveness in real conditions. Using the included histograms, charts and tables, the article visualizes data and trends, which contributes to a better understanding of the complexity and dynamics of cyber attacks. Based on the analysis, recommendations are formulated to improve cyber defense strategies and develop new approaches to ensuring security in the digital world, which is critically important for protecting valuable information assets and maintaining the stability of cyberspace.*

**Key words:** Cybersecurity, cyber attacks, threat detection automation, cyber attack forecasting

### Сведения об авторах

**Алишер Рахматулла Ерболұлы** – магистрант 2 курса по специальности «Система Информационной Безопасности»; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан; e-mail: roma43529@gmail.com.

**Камшат Бақытжановна Тусупова** – ДокторPhD кафедры «Информационные системы»; старший преподаватель; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Әлішер Рахматулла Ерболұлы** – «Ақпараттық қауіпсіздік жүйелері» мамандығының 2 курс магистранты; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: roma43529@gmail.com.

**Камшат Бақытжановна Түсіпова** – «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының PhD докторы; аға оқытушы; әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы.

### Authorlar turaly malimetter

**Alisher Rakhmatulla Erboluly** – «Information security systems» profession 2nd year master's students; Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: roma43529@gmail.com

**2Kamshat Bakytzhanovna Tusipova**– «Information system» of the Department of PhD Doctors; Senior Lecturer; Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan.

Поступила в редакцию 30.04.2024

Поступила после доработки 07.09.2024

Принята к публикации 09.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-2](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-2)



МРНТИ: 50.41.01

**Э.Н. Бопанова<sup>1\*</sup>, И.Б. Карымсакова<sup>1</sup>, Ю.В. Крак<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Киевский национальный университет имени Шевченко,  
01033, Украина, г. Киев, ул. Володимирська, 60

\* email: emiliya2000@mail.ru

## АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

**Аннотация:** Целью данного исследования является анализ и систематизация методов разработки программных интерфейсов (ПИ), а также определение оптимальных подходов и технологий для создания интуитивно понятных и удобных ПИ. В современном мире программные интерфейсы играют ключевую роль в обеспечении взаимодействия пользователя с программными продуктами, поэтому важность их качественного проектирования сложно переоценить. В рамках работы рассматриваются различные методики проектирования ПИ, включая классические и современные подходы, такие как пользовательско-ориентированный дизайн (UCD), прототипирование, тестирование на удобство использования и адаптивный дизайн. Также изучаются принципы взаимодействия с пользователем, включая когнитивные аспекты и модели восприятия информации, что позволяет создать более эффективные и удобные в использовании интерфейсы.

Особое внимание уделяется современным технологиям и инструментам, таким как фреймворки и библиотеки для разработки интерфейсов, методы автоматизации и использования искусственного интеллекта в процессе проектирования ПИ. Исследование включает анализ успешных примеров реализации ПИ в различных отраслях, а также обзор новейших тенденций в области интерфейсного дизайна. Результаты исследования направлены на формирование рекомендаций по выбору оптимальных методов и технологий разработки ПИ в зависимости от специфики проекта и требований конечных пользователей.

Основные выводы исследования могут быть полезны разработчикам программного обеспечения, специалистам по пользовательскому опыту и дизайнерам интерфейсов для повышения качества взаимодействия пользователей с программными продуктами. Работа также может служить основой для дальнейших исследований в области разработки и оптимизации пользовательских интерфейсов, способствуя развитию данной области знаний и практики.



**Ключевые слова:** пользовательские интерфейсы, методы разработки, интуитивно понятные интерфейсы, удобство использования, пользовательско-ориентированный дизайн, прототипирование, тестирование интерфейсов, адаптивный дизайн.

## **Введение**

В современном мире программное обеспечение играет ключевую роль во всех сферах человеческой деятельности, от бизнеса и образования до развлечений и медицины. Эффективное взаимодействие пользователя с программными продуктами во многом определяется качеством пользовательских интерфейсов (ПИ), которые должны быть интуитивно понятными и удобными в использовании. Однако создание таких интерфейсов представляет собой сложную задачу, требующую глубокого понимания принципов проектирования, методов разработки и современных технологий.

Актуальность данного исследования обусловлена возрастающим спросом на качественные и удобные пользовательские интерфейсы, которые обеспечивают положительный опыт взаимодействия пользователей с программными продуктами. В условиях высокой конкуренции на рынке программного обеспечения, способность разработчиков создавать эффективные и удобные интерфейсы становится одним из ключевых факторов успеха. Кроме того, стремительное развитие технологий, таких как искусственный интеллект, автоматизация и адаптивный дизайн, открывает новые возможности и ставит перед разработчиками новые задачи, которые требуют систематического анализа и оптимизации подходов к разработке ПИ.

## **Цель исследования**

Целью данного исследования является анализ и систематизация методов разработки программных интерфейсов, а также определение оптимальных подходов и технологий для создания интуитивно понятных и удобных ПИ. В рамках работы будут рассмотрены различные методики проектирования, принципы взаимодействия с пользователем и критерии оценки удобства использования интерфейсов.

Научная новизна исследования заключается в комплексном подходе к анализу методов разработки ПИ, включающем как классические, так и современные подходы, а также в разработке рекомендаций, основанных на анализе новейших тенденций и технологий в области интерфейсного дизайна.

## **Обзор литературы**

Пользовательский интерфейс – важный элемент любой программы, от которого зависит эффективность работы пользователя с системой. Ввиду возрастающей сложности информационных систем и пользовательских интерфейсов разрабатываются специальные инструменты для поддержки разработки пользовательских интерфейсов. В источниках [1] представлены теоретические основы проектирования пользовательских интерфейсов. В данных исследованиях подробно рассмотрены концепция пользовательского интерфейса, методы проектирования пользовательских интерфейсов и инструменты проектирования интерфейсов, поддерживающие проектирование, модификацию и автоматическую генерацию кода всех компонентов интерфейса. Однако они требуют от разработчика изучения специализированных декларативных языков описания компонентов интерфейса или основаны на формализмах, например UML (Unified Modeling Language), что снижает интеллектуальную поддержку разработчика. Некоторые инструменты не удовлетворяют требованию открытости, поэтому при выходе ИС (информационной системы) на рынок. Уже требуется его модификация под имеющиеся требования.

Процесс проектирования пользовательского интерфейса

Во многих известных методах проектирования интерфейсов присутствуют инструменты для систематического и эффективного преобразования знаний, собранных в ходе исследований, в детальную спецификацию интерфейса. Одна из причин – дизайнеры оторваны от исследовательского цикла и в результате им приходится полагаться на чужие представления о действиях и желаниях пользователей.

Другая причина заключается в том, что поведение пользователей в форме, подходящей для формирования определения продукта, фиксируется несколькими подходами [2]. Большинство методов предоставляют информацию на уровне задач, а не целей пользователей. Информация этого типа не имеет никакой пользы для определения общей инфраструктуры, которая описывает, что делает продукт, как он удовлетворяет требованиям

пользователей и что он из себя представляет. Эта информация лучше всего подходит для создания макетов, моделирования рабочего процесса и преобразования функций в компоненты пользовательского интерфейса [3]. Чтобы преодолеть этот разрыв, необходимо создать пользовательские модели, определить требования к пользовательскому интерфейсу и преобразовать их в единую концепцию взаимодействия. Для этого необходимо использовать целенаправленное проектирование, позволяющее устранить существующий разрыв между исследованиями пользовательской аудитории и проектированием в процессе разработки, сочетая как новые, так и ранее известные подходы [4].

Целевой дизайн включает в себя методы моделирования пользователей, базовые наборы шаблонов и принципы их проектирования для взаимодействия пользователя с интерфейсом, маркетинговое исследование, сценарное проектирование, а также этнографию. С одной стороны это позволяет создавать решения, отвечающие потребностям и целям пользователей, а с другой – требованиям бизнеса и технологическим ограничениям. Этот процесс можно разделить на шесть этапов.

Первый этап – исследовательский. Следующий этап исследования – моделирование. После этого требования прорабатываются. Далее определяется общая инфраструктура. Отслеживание и детализация идут в последнюю очередь [5].

Методы создания пользовательских интерфейсов

При создании пользовательских интерфейсов можно рассмотреть два разных метода [3]:

1) при ручном подходе разработчик пишет код, обрабатывающий события пользователей и отвечающий за генерацию элементов пользовательского интерфейса. Такой подход не всегда быстрый, но дает максимальный контроль над интерфейсом и обработкой событий.

2) при использовании графического редактора появляется возможность изобразить интерфейс и посмотреть, как он будет выглядеть. Этот метод гораздо более очевиден, однако он почти всегда менее гибок. При классическом подходе к проектированию пользовательского интерфейса на основе требований пользователей макеты планируемого интерфейса формируются в виде прототипов, представляющих интерфейс в графическом виде. Описание поведения интерфейса – часть прототипа, которая появляется либо в результате взаимодействия пользователя с продуктом, либо в результате эмуляции поведения продукта [3, 4]. С помощью спецификаций дизайнерами и самими разработчиками создается визуальный образ продукта.

У каждого участника проектирования есть личная сфера компетенции и ответственности. Этот подход успешно используется в ситуациях, когда уже давно заданы модели взаимодействия, основанные на фиксированном наборе компонентов управления, например, обычные WEB-приложения или классические приложения. Но этот подход не очень хорошо работает для современных Ajax (асинхронный JavaScript и XML) и RIA (насыщенное интернет-приложение). Эта проблема решается с помощью специализированных языков описания интерфейсов и сред разработки. Данное решение позволяет отделить бизнес-логику приложения от внешнего вида интерфейса. Специальные языки описания интерфейса описывают внешний вид элементов таким образом, что интерфейс легко реализовать в любом редакторе [6]. Далее будут рассмотрены классификации инструментов разработки пользовательского интерфейса.

Виды взаимодействия с пользователем

Отделение дизайна интерфейса от приложения является основной концепцией системы управления пользовательским интерфейсом. В настоящее время концепция отдельного проектирования интерфейса закреплена в определении UIMS или является ее основным свойством.

Управление взаимодействием между пользователем и прикладной программой, а также облегчение разработки, обслуживания интерфейса и упрощение являются основными функциями UIMS. Взаимодействие с пользователем прикладной программы и интерфейса определяется его поведением. Обычно выделяют три типа взаимодействия: диалог вызывается прикладной программой, пользователем или ими обоими.

Инициатива прикладной программы. Такой вид управления означает, что программа запрашивает у пользователя некоторые данные, если они ей нужны. Когда необходимо ввести

данные, которые требует система, то в процесс включается пользователь. Такое управление означает, что инициативу берет на себя пользователь, и такая возможность реализована в интерфейсе.

Смешанная управленческая инициатива. В этом типе взаимодействия сочетаются два упомянутых выше подхода. В настоящее время существует множество инструментов разработки пользовательских интерфейсов, поддерживающих различные способы их реализации. Однако стандартной классификации предлагаемого инструментария не существует. Пользователю сложно выбрать тот или иной инструмент, а также сравнить их между собой [7].

### Обсуждения и результаты

Модель математического интерфейса

Для построения математической модели системы необходимо описать множества, содержащиеся в информационной системе аудиторского фонда. Эта система содержит четыре набора [8]. Первый набор системы – это авторизованные пользователи системы, поэтому множество различных пользователей системы можно представить в виде:

$$P = \{AP_1, AP_2, AP_3\}, \quad (1)$$

Здесь,  $AP_1$  – пользователи с уровнем доступа для обычного просмотра,

$AP_2$  – пользователи с уровнем доступа с возможностью внесения изменений,

$AP_3$  – пользователи с уровнем доступа администратора. Второй комплект системы представляет собой набор интерфейсов:

$$I = \{Z_1, Z_2, Z_3\}, \quad (2)$$

Здесь,  $Z_1$  – интерфейс для пользователей с уровнем доступа «обычный пользователь»,

$Z_2$  – интерфейс для пользователя с уровнем доступа с возможностью внесения изменений,

$Z_3$  – интерфейс для пользователя с уровнем доступа «администратор». Третий набор – это набор действий, производимых пользователем:

$$D = \{d_{ij} | i = 1, 2, \dots, j\}, \quad (3)$$

Здесь,  $d_{ij}$  – действия, выполняемые пользователями,  $j$  – количество действий пользователя.

Четвертый набор – это набор элементов интерфейса:

$$E = \{e_{ij} | i = 1, 2, \dots, j\}, \quad (4)$$

Здесь,  $e_{ij}$  – элемент пользовательского интерфейса,  $j$  – количество элементов интерфейса. Для двух наборов  $P$  и  $I$  существует функция  $P_I$ , предназначенная для отображения интерфейса пользователю, эта функция имеет вид:

$$P_I : P\{AP_n\} \rightarrow I\{Z_n\}, \quad (5)$$

где  $AP_n$  – авторизованный пользователь системы с определенным уровнем доступа,  $Z_n$  – пользовательский интерфейс, зависящий от  $AP_n$ .

### Машинные состояния:

$Q_0$  – страница выбора здания института,  $Q_1$  – выпадающий список выбора здания,  $Q_2$  – выбор аудитории здания,  $Q_3$  – информация об аудитории,  $Q_4$  – выбор даты,  $Q_5$  – конечное состояние (отображается информация о занятости) – рис. 1 [9].

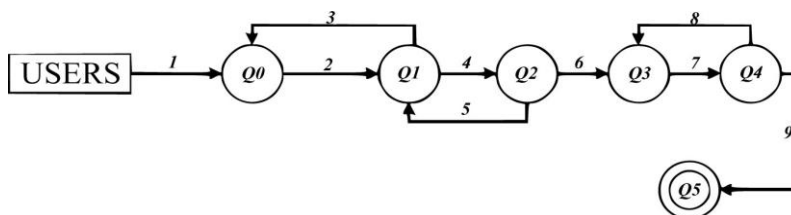


Рисунок 1 – Сбор информации NFA о пользователе

### Переходы машины:

1 – пользователь нажал кнопку «Выбрать здание», 2 – пользователь выбрал здание, 3 – пользователь ошибся при выборе здания, 4 – пользователь правильно выбрал здание и ему

предоставляется возможность выбрать аудиторию здания, 5 – пользователь ошибся при выборе аудитории, 6 – пользователь правильно выбрал аудиторию и ему отображается информация об аудитории, 7 – пользователь выбирает дату, 8 – пользователь ошибся при выборе даты, 9 – пользователь правильно выбрал дату и отображается информация о занятости аудитории.

Согласно построенной модели, можно сделать вывод, что интерфейс можно представить в виде модели автомата-графа, и каждый элемент представлен в виде автомата. Такой подход позволяет предсказать сложность интерфейса.

### **2.1. Предварительный анализ**

Перед началом проектирования прототипа интерфейса информационной системы необходимо составить спецификацию, где будут описаны назначение системы, основные цели пользователей, функции системы и область применения. Информационная система аудиторного фонда позволяет видеть паспорт аудитории, её текущую занятость, а также её расположение на карте здания высшего учебного заведения (ВУЗа).

Целью системы является учет текущего состояния помещений образовательного процесса, а также анализ аудиторного фонда, контроль отклонений между фактическими показателями и планируемыми. Пользователями системы являются преподаватели ВУЗа. Система должна обеспечивать автоматизацию следующих процессов:

1. учет аудиторий с данными об их оборудовании и состоянии;
2. оперативное принятие решений по эксплуатации и обслуживанию помещений;
3. учет занятости аудиторий в процессе образовательного процесса.

Следующий подраздел предоставляет информацию о перечне функциональности системы и требованиях к системе.

### **2.2. Сбор требований**

Перечень функциональности представляет собой список действий, которые пользователь может выполнять в системе. Этот список позволяет более точно определить функциональные требования, дать точную оценку сроков проекта, планировать и учитывать трудозатраты [10]. Пользователь может:

1. Просматривать информацию о количестве аудиторий разных типов, их расположении и занятости, основном и дополнительном оборудовании каждой аудитории;
2. Удалять не интересующие блоки информации;
3. Просматривать занятость аудиторий по датам.

В дополнение к перечню функциональности были сформулированы требования к системе:

1. Предотвращение дублирования информации и реализация принципа одноразового ввода;
2. Обеспечение адаптации системы к новым условиям эксплуатации при сохранении её работоспособности;
3. Возможность относительно легкого введения отдельных элементов в систему.

Данная система использует базу данных Oracle, что позволит в будущем сделать систему гетерогенной. Это необходимо для возможности создания веб-интерфейса, а также позволит подключить информационную систему аудиторного фонда к существующей системе расписания.

#### **Обсуждение**

Разработка прототипа интерфейса для информационной системы продемонстрировала важность тщательного предварительного анализа и сбора требований. В ходе работы было выявлено несколько ключевых аспектов, влияющих на успешность проекта:

1. Понимание пользовательских потребностей: Глубокий анализ ролей пользователей и их задач позволил сформулировать точные требования к системе. Основными пользователями системы являются преподаватели ВУЗа, которым необходимы удобные инструменты для управления аудиторным фондом.

2. Методы проектирования интерфейса: Использование различных методов проектирования интерфейсов, таких как прототипирование и тестирование на удобство использования, способствовало созданию интуитивно понятного и удобного интерфейса. В процессе проектирования учитывались когнитивные аспекты и модели восприятия информации, что позволило улучшить взаимодействие пользователя с системой.

3. Современные технологии и инструменты: Внедрение современных технологий, таких как использование базы данных Oracle, обеспечило гибкость и адаптивность системы. Это позволяет системе легко адаптироваться к новым условиям эксплуатации и интегрироваться с существующими системами, такими как система расписания.

Результаты данного исследования показали, что правильный подход к проектированию и разработке интерфейсов информационных систем может значительно повысить их эффективность и удобство использования. Внедрение разработанного прототипа интерфейса информационной системы аудиторного фонда и его интеграция с существующими системами позволят улучшить управление материально-техническими средствами образовательного процесса, а также упростить и автоматизировать многие рутинные задачи, с которыми сталкиваются преподаватели ВУЗа.

#### **Заключение**

В ходе данного исследования были изучены методы проектирования пользовательского интерфейса, типы взаимодействия с пользователем и основные спецификации интерфейса. Разработан прототип интерфейса: был создан прототип интерфейса информационной системы аудиторного фонда, который включает все необходимые функции для учета состояния аудиторий, их занятости и управления материально-техническими средствами. Были сформулированы и документированы все функциональные требования к системе, что позволило четко определить объем работ и спланировать проектные сроки и трудозатраты.

Система автоматизирует учет аудиторий, оперативное принятие решений по эксплуатации и обслуживанию помещений, а также учет занятости аудиторий в процессе образовательного процесса. Использование базы данных Oracle обеспечило возможность создания веб-интерфейса и интеграции информационной системы аудиторного фонда с существующей системой расписания, что значительно повысило удобство и эффективность использования системы. Прототип интерфейса был протестирован на удобство использования, что позволило выявить и устранить недостатки, улучшив общий пользовательский опыт.

#### **Список литературы**

1. Введение в операционные системы: в 2-х т. – М.: Мир, 1987. – 398 с.
2. Информационные системы: Методы и средства / Пер. с фр. под ред. К.Л. Горфана, Т.В. Молчановой. – Москва: Мир, 1979. – 632 с.
3. Белоусова С.А. Анализ подходов к созданию пользовательского интерфейса / С.А. Белоусова, Ю.И. Рогозов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2014. – вып. 3. – С. 82-86.
4. Cooper A. The Inmates Are Running the Asylum: Why High-Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity / A. Cooper // Sams Publishing. – 2004.
5. Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction / B. Shneiderman et al // For courses in Human-Computer Interaction. – 2016.
6. Rogers Y. Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction, 6th Edition / Y. Rogers, H. Sharp, J. Preece. – 2023. – 720 p.
7. Норман Д. Дизайн привычных вещей. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 384 с.
8. Математическое моделирование: идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: Наука: Изд. фирма «Физ.-мат. лит.», 1997. – 316 с.
9. Основы компьютерного моделирования наносистем: уч. пособие / И.М. Ибрагимов, А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. – 376 с.
10. Прикладная математика: предмет, логика, особенности подходов: с примерами из механики / И.И. Блехман, А.Д. Мышкис, Я.Г. Пановко. – Изд. 5-е, испр. – Москва, 2017. – 376 с.

#### **References**

1. Vvedenie v operatsionnyye sistemy: v 2-kh t. – M.: Mir, 1987. – 398 s. (In Russian).
2. Informatsionnyye sistemy: Metody i sredstva / Per. s fr. pod red. K.L. Gorfana, T.V. Molchanovoi. – Moskva: Mir, 1979. – 632 s. (In Russian).
3. Belousova S.A. Analiz podkhodov k sozdaniyu pol'zovatel'skogo interfeisa / S.A. Belousova, YU.I. Rogozov // Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2014. – vyp. 3. – S. 82-86. (In Russian).

4. Cooper A. The Inmates Are Running the Asylum: Why High-Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity / A. Cooper // Sams Publishing. – 2004. (In English).
5. Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction / B. Shneiderman et al // For courses in Human-Computer Interaction. – 2016. (In English).
6. Rogers Y. Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction, 6th Edition / Y. Rogers, H. Sharp, J. Preece. – 2023. – 720 p. (In English).
7. Norman D. Dizain privychnykh veshchei. – M.: Mann, Ivanov i Ferber, 2018. – 384 s. (In Russian).
8. Matematicheskoe modelirovanie: idei. Metody. Primery / A.A. Samarskii, A.P. Mikhailov. – M.: Nauka: Izd. firma «Fiz.-mat. lit.», 1997. – 316 s. (In Russian).
9. Osnovy komp'yuternogo modelirovaniya nanosistem: uch. posobie / I.M. Ibragimov, A.N. Kovshov, YU.F. Nazarov. – Sankt-Peterburg: Lan', 2010. – 376 s. (In Russian).
10. Prikladnaya matematika: predmet, logika, osobennosti podkhodov: s primerami iz mekhaniki / I.I. Blekhan, A.D. Myshkis, YA.G. Panovko. – Izd. 5-e, ispr. – Moskva. – 2017. – 376 s. (In Russian).

**Э.Н. Бопанова<sup>1\*</sup>, И.Б. Карымсакова<sup>1</sup>, Ю.В. Крак<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20 А

<sup>2</sup>Шевченко атындағы Киев ұлттық университеті,  
01033, Украина, Киев қ., Владимир к-сі, 60

\*email: emiliya2000@mail.ru

### **БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ИНТЕРФЕЙСТЕРДІ ӨЗІРЛЕУ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ЖҮЙЕЛЕУ**

*Бұл зерттеудің мақсаты – бағдарламалық интерфейстерді (БИ) әзірлеу әдістерін талдау және жүйелеу, сондай-ақ интуитивті түсінікті және ыңғайлы БИ жасау үшін оңтайлы тәсілдер мен технологияларды анықтау. Қазіргі әлемде бағдарламалық интерфейстер пайдаланушылардың бағдарламалық өнімдермен өзара әрекеттесуін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады, сондықтан олардың сапалы жобалануының маңыздылығын асыра бағалау қиын. Жұмыс аясында классикалық және заманауи тәсілдерді, мысалы, пайдаланушыға бағдарланған дизайн (UCD), прототиптеу, пайдаланудың ыңғайлылығын тестілеу және бейімделетін дизайн сияқты әртүрлі БИ жобалау әдістері қарастырылады. Сондай-ақ, пайдаланушымен өзара әрекеттесу қағидастары, когнитивтік аспектілер және ақпаратты қабылдау үлгілері зерттеледі, бұл тиімді және ыңғайлы интерфейстер жасауға мүмкіндік береді. Әсіресе, интерфейстерді әзірлеу үшін фреймворктар мен кітапханалар сияқты заманауи технологиялар мен құралдарға, БИ жобалау процесіндегі автоматтандыру әдістері мен жасанды интеллектті қолдануға ерекше назар аударылады. Зерттеуде әртүрлі салаларда БИ-ді іске асырудың табысты мысалдары талданып, интерфейс дизайны саласындағы соңғы үрдістерге шолу жасалады. Зерттеу нәтижелері жобаның ерекшеліктері мен соңғы пайдаланушылардың талаптарына байланысты БИ әзірлеу әдістері мен технологияларын таңдауға қатысты ұсынымдар әзірлеуге бағытталған. Зерттеудің негізгі қорытындылары бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеушілерге, пайдаланушы тәжірибесі жөніндегі мамандарға және интерфейс дизайнерлеріне пайдаланушылардың бағдарламалық өнімдермен өзара әрекеттесу сапасын арттыру үшін пайдалы болуы мүмкін. Жұмыс сондай-ақ пайдаланушы интерфейстерін әзірлеу және оңтайландыру саласындағы одан әрі зерттеулерге негіз бола алады, бұл білім мен тәжірибенің осы саласын дамытуға ықпал етеді.*

**Түйін сөздер:** пайдаланушы интерфейстері, әзірлеу әдістері, интуитивті түсінікті интерфейс, ыңғайлылық, пайдаланушыға бағдарланған дизайн, прототиптеу, интерфейсдерді тестілеу, бейімделетін дизайн.

**E.N. Bopanova<sup>1\*</sup>, I.B. Karymsakova<sup>1</sup>, Y.V. Krak<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka Street, 20 A

<sup>2</sup>Shevchenko National University of Kyiv,  
01033, Ukraine, Kyiv, Volodymyrska Street, 60

\*email: emiliya2000@mail.ru

### **ANALYSIS AND SYSTEMATIZATION OF SOFTWARE INTERFACE DEVELOPMENT METHODS**

*The goal of this research is to analyze and systematize the methods used in software interface (SI) development, as well as to identify the optimal approaches and technologies for creating intuitive and user-friendly interfaces. In today's world, software interfaces play a crucial role in facilitating user interaction with*

software products, making their effective design essential. This study examines various SI design methodologies, including both classical and modern approaches, such as user-centered design (UCD), prototyping, usability testing, and adaptive design. Additionally, it explores principles of user interaction, including cognitive aspects and models of information perception, which contribute to the creation of more efficient and user-friendly interfaces.

Special attention is given to contemporary technologies and tools, such as frameworks and libraries for interface development, as well as automation methods and the use of artificial intelligence in the SI design process. The research includes an analysis of successful SI implementations across various industries and reviews the latest trends in interface design. The findings are aimed at providing recommendations for selecting the most appropriate methods and technologies for SI development, depending on the project's specific requirements and the needs of end users.

The key conclusions of this study may be valuable to software developers, user experience specialists, and interface designers in improving the quality of user interactions with software products. This work can also serve as a foundation for further research in the field of user interface development and optimization, contributing to the advancement of knowledge and practice in this area.

**Key words:** user interfaces, development methods, intuitive interfaces, usability, user-centered design, prototyping, interface testing, adaptive design.

#### **Сведения об авторах**

**Эмилия Нурлановна Бопанова\*** – магистрант кафедры «Автоматизация, информационные технологии и градостроительство»; Университет имени Шакарима город Семей, Республика Казахстан; email: emiliya2000@mail.ru.

**Индира Бекеновна Карымсакова** – преподаватель кафедры «Автоматизация, информационные технологии и градостроительство»; Университет имени Шакарима город Семей, Республика Казахстан.

**Юрий Васильевич Крак** – профессор кафедры «Теоретическая кибернетика»; Киевский национальный университет имени Шевченко, Украина.

#### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Эмилия Нурлановна Бопанова\*** – «Автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қала құрылысы» кафедрасының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; email: emiliya2000@mail.ru.

**Индира Бекеновна Карымсакова** – «Автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қала құрылысы» кафедрасының оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы.

**Юрий Васильевич Крак** – «Теориялық кибернетика» кафедрасының профессоры; Шевченко атындағы Киев ұлттық университеті, Украина.

#### **Information about the authors**

**Эмилия Нурлановна Бопанова\*** – master's student of the Department «Automation, Information Technology and Urban Planning», Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; email: emiliya2000@mail.ru.

**Индира Бекеновна Карымсакова** – lecturer of the Department «Automatization, Information Technology and Urban Planning»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan.

**Юрий Васильевич Крак** – professor of the Department «Theoretical Cybernetics»; Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine.

*Поступила в редакцию 28.08.2024*

*Поступила после доработки 10.09.2024*

*Принята к публикации 12.09.2024*

**A. Mendebayeva<sup>2</sup>, T. Zhylybayev<sup>1\*</sup>, E. Qaiyrolla<sup>1</sup>, Ahmet Şakir Dokuz<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street

<sup>2</sup>Astana IT University,  
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Mangilik El Avenue, 55/11

<sup>3</sup>Niğde Ömer Halisdemir University,  
51240, Rectorate, Central Campus, On Bor Road, Niğde

\*e-mail: zhitosya@mail.ru

## **BASIC ASPECTS OF SELECTING AND USING COMMUNICATION PROTOCOLS FOR A SMART HOME SYSTEM**

**Annotation:** *The article considers SMART technology, in particular smart house and basic communication protocols used for data exchange. Smart house technology additionally bears the name «home automation». Home automation in modern conditions allows the user or consumer to flexibly manage and independently configure the system, depending on the requirements of the user. One of the stages of customization of smart home technology is the selection of communication protocol for data exchange within the smart home system.*

*To implement data exchange in smart home technology, it is necessary to properly approach the choice of communication protocols. Smart home technology uses several types of devices: controllers, sensors, acoustics. Since not all devices support existing protocols, there are also unique devices that support several of the existing protocols. There are several protocols used in smart home technology: ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi.*

*In this article the analysis of two main wireless protocols operating at high frequencies, namely ZigBee and Z-Wave. Correctly selected protocols implement fast data transmission without loss. In addition, it will be possible to realize the needs of the user or user, which are set by the system.*

**Key words:** *protocol, Z-Wave, ZigBee, wireless technology, smart home, home automation.*

### **Introduction**

In the period of automation of all spheres of human activity, issues of management of household appliances that provide a comfortable existence of the person, which is defined as the concept of «Smart House», become relevant. This concept is dynamically developing, as the technologies that provide it, do not stand still, new devices, devices and gadgets appear to improve and comfort human life.

The concept of construction and development of «Smart Home» technology involves the joint work of all components of the smart home system using wired or wireless communication [1, 2]. The control of devices included in the «Smart Home» structure can be realized with the help of various communication devices, including portable, for example, smartphones. In this case, it is not the brand of smart home devices and their controls that will be decisive, but the protocols between them, because it is communication protocols that determine the qualitative and quantitative characteristics of the interaction of components of the hardware and software of the smart home.

### **Conditions and methods of research**

Based on the above, the properly selected protocol of interaction gives the opportunity to complete the system «Smart Home» with the products of various manufacturers, for example, Xiaomi security system and Apple video surveillance camera and allows to organize their interaction [3, 4].

Thus, many smart devices support several universal standards and protocols, such as Z-Wave (Figure 1) and ZigBee (Figure 2).

These protocols are designed specifically for home automation, they provide security and versatility [4].





Figure 1 – Organization of work on the Z-Wave protocol



Figure 2 – ZigBee protocol management

Both protocols belong to the cellular network category, which means that the communication within them has the possibility of reaching its destination in several ways. They also reduce the likelihood of failure and ensure safety by ensuring that when a host is damaged, the message is redirected to the nearest available device within the network. This network algorithm is made possible by arranging a network in which each device is connected to several other devices.

If you look at the protocols separately, then the Z-Wave (Figure 1) works in the frequency range up to 1 GHz, and this is convenient, because the potential interference in this band is significantly less than in the 2.4 GHz frequency range on which Wi-Fi and Bluetooth work. An additional advantage of the protocols are small time delays when passing short commands [5-8].

The ZigBee protocol, unlike Z-Wave, provides the ability to select a routing algorithm depending on the network state and program requirements (Figure 2). Like the Z-Wave protocol, ZigBee provides increased security and low power consumption, which means long-term offline operation of network devices [9, 10].

### Research results

The protocols reviewed are open protocols and are increasingly supported by companies such as Xiaomi. Alliances have already formed around both protocols, which include manufacturers of smart home systems. The list of companies is extremely wide, it can be found on official sites Z-Wave and ZigBee [4-9].

Wireless data transmission technologies Z-Wave and ZigBee are a real find not only for the «smart home» systems, but also for modern smart devices in general. Solutions for intelligent home system, combined through Z-Wave and ZigBee protocols, provide huge opportunities for a modern apartment or private house, as an individual project of the system «smart home» allows you to create your own rules of interaction between devices with your unique software [4-10].

### Discussion of research results.

Thus, we can conclude that the described communication protocols are reliable and comfortable solutions not only for users, but also developers. The protocol structure provides sufficient coverage to operate the system over large areas with an ideal signal quality.

### Conclusion.

In conclusion, I would like to say that in recent times there have been many multi rotary controllers that simultaneously combine several wireless technologies of the smart home. Therefore, manufacturers try to harmonize competing protocols and give users more freedom to create intelligent home networks. The most popular combination is simultaneous support for Z-Wave, Zigbee and Bluetooth Smart in one device. Today, the wireless technology market for a smart home is changing rapidly. Only the requirements for the power consumption of the device, digital security, network fault tolerance, the device's anti-interference capability, ease of connection and interoperability of products of the same communication standard remain unchanged. When choosing the basis for a smart home, you need to carefully weigh all these factors.

### References

1. Petin V.A. Sozdanie umnogo doma na baze Arduino / V.A. Petin. – M: DMK Press, 2018 – 180 S.
2. Domashnyaya avtomatizatsiya. Uyni dom. [Elektronnyi resurs] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Domashnyaya\\_avtomatizatsiya](https://ru.wikipedia.org/wiki/Domashnyaya_avtomatizatsiya) (data obrashcheniya 31.01.2024).

3. Carvalho M. Building Smart Home Automation Solutions with Home Assistant: Configure, integrate, and manage hardware and software systems to automate your home / M. Carvalho. – Packt Publishing, 2023 – 356 p.
4. Spivey D. Home Automation For Dummies / D. Spivey. – Dummies Tech, 2015 – 360 p.
5. Z-Wave: postroit' umnyi dom legko [Ehlektronnyi resurs] URL: <https://wifi.kz/articles/z-wave-postroit-umnyy-dom-legko/> (data obrashcheniya: 31.01.2024).
6. Paetz Ch. Z-Wave Basics: Remote Control in Smart Homes / Ch. Paetz. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014. – 300 p.
7. O tekhnologii Z-Wave [Ehlektronnyi resurs] URL: <https://rus.z-wave.me/z-wave> (data obrashcheniya 02.02.2024).
8. Paetz Ch. Z-Wave Essentials / Ch. Paetz. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017. – 402 p.
9. Bee Z. About and characteristic [Ehlektronnyi resurs] URL: <https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/> (data obrashcheniya: 31.01.2024).
10. Network Protocols and Applications / W. Chonggang et al. – New York: Auerbach Publications, 2014. – 378 p.

**А.Д. Мендебаева<sup>2</sup>, Т.С. Жылқыбаев<sup>1\*</sup>, Е.А. Қайыролла<sup>1</sup>, Ahmet Şakir Dokuz<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Astana IT University,  
010000, Республика Казахстан, г. Астана, проспект Мәңгілік Ел, 55/11

<sup>3</sup>Niğde Ömer Halisdemir University,  
51240, г. Нигде, Центральный кампус, Бор-роуд  
\*e-mail: zhtosya@mail.ru

## **ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ВЫБОРА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ПРОТОКОЛОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»**

*В статье рассматривается технология SMART, в частности умный дом (SMART HOUSE) и основные протоколы связи, применяемые для обмена данными. Технология умный дом дополнительно носит наименование «домашняя автоматизация». Домашняя автоматизация в современных условиях позволяет пользователю или потребителю гибко управлять и самостоятельно настраивать систему, в зависимости от требований пользователя. Одним из этапов настройки технологии умный дом, является выбор протокола связи для обмена данными внутри системы умный дом.*

*Для реализации обмена данными в технологии умный дом, необходимо правильно подойти к выбору протоколов связи. В технологии умный дом используются несколько типов устройств: контроллеры, датчики, акутаторы. Так как не все устройства поддерживают существующие протоколы, но бывают и уникальные устройства, поддерживающие несколько из существующих протоколов. Существует несколько протоколов, применяемых в технологии умный дом: ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi.*

*В данной статье произведен анализ двух основных беспроводных протоколов, работающих на высоких частотах, а именно ZigBee и Z-Wave. Правильно выбранные протоколы реализуют быструю передачу данных без потерь. Кроме этого, позволят реализовать потребности пользователя или потребителя, которые задаются системе.*

**Ключевые слова:** *протокол, Z-Wave, ZigBee, беспроводные технологии, умный дом, домашняя автоматизация.*

**А.Д. Мендебаева<sup>2</sup>, Т.С. Жылқыбаев<sup>1\*</sup>, Е.А. Қайыролла<sup>1</sup>, Ahmet Şakir Dokuz<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

<sup>2</sup>Astana IT University,  
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Мәңгілік Ел даңғылы, 55/11

<sup>3</sup>Niğde Ömer Halisdemir University,  
51240, Нигде, орталық кампус, Бор жолы  
\*e-mail: zhtosya@mail.ru

## **АҚЫЛДЫ ҮЙ ЖҮЙЕСІ ҮШІН БАЙЛАНЫС ХАТТАМАЛАРЫН ТАҢДАУ МЕН ПАЙДАЛАНУДЫҢ НЕГІЗГІ АСПЕКТІЛЕРІ**

Мақалада SMART технологиялары, атап айтқанда, ақылды үй технологиясы (SMART HOUSE) және деректер алмасу үшін қолданылатын негізгі байланыс хаттамалары талқыланады. Ақылды үй технологиясы «үйді автоматтандыру» деген атпен де белгілі. Заманауи жағдайларда үйді автоматтандыру пайдаланушыға немесе тұтынушыға пайдаланушының талаптарына байланысты жүйені икемді басқаруға және дербес конфигурациялауға мүмкіндік береді. Ақылды үй технологиясын орнату кезеңдерінің бірі- смарт үй жүйесінде деректер алмасу үшін байланыс хаттамасын таңдау болып табылады.

Ақылды үй технологиясында деректер алмасуды жүзеге асыру үшін дұрыс байланыс протоколдарын таңдау қажеттілігі туындайды. Ақылды үй технологиясы құрылғылардың бірнеше түрін пайдаланады: контроллерлер, сенсорлар, акутаторлар. Өйткені барлық құрылғылар бірдей қолданыстағы бар хаттамаларды қолдай бермейді, бірақ бірнеше протоколдарды қолдайтын уникалды құрылғылар да бар. Ақылды үй технологиясы бірнеше хаттамаларды пайдаланады: ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi.

Бұл мақалада ZigBee және Z-Wave сияқты жоғары жиіліктерде жұмыс істейтін екі негізгі сымсыз хаттамалар талданады. Дұрыс таңдалған хаттамалар деректерді жоғалтпай, жылдам тасымалдауды жүзеге асырады. Сонымен қатар, олар жүйеде көрсетілген пайдаланушы немесе тұтынушы қажеттіліктерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** хаттама, Z-Wave, ZigBee, сымсыз технологиялар, ақылды үй, үйді автоматтандыру.

#### Information about the authors

**Aidana Mendebayeva** – Master of Technical Sciences, lecturer of the Department «Automatization, Information Technology and Urban Planning»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: aid0904@mail.ru.

**Tursynkhan Zhylykybayev\*** – Master of Technical Sciences, lecturer of the Department «IT technologies»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: zhitosya@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8918-527X>.

**Erkezhan Qaiyrolla** – Master of Technical Sciences, lecturer of the Department «IT technologies»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: erkealibekovna887@gmail.com.

**Ahmet Şakir Dokuz** – PhD, Docent of Computer Software Engineering; Nigde Omir Halsedemir University.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Айдана Дарханқызы Мендебаева** – техника ғылымдарының магистрі, Қазақстан Республикасы "Astana IT University" ЖШС деканатының маманы; e-mail: aid0904@mail.ru.

**Тұрсынхан Саятұлы Жылқыбаев\*** – техника ғылымдарының магистрі, «IT технология» кафедрасының оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: zhitosya@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8918-527X>.

**Еркежан Алибекқызы Қайыролла** – техника ғылымдарының магистрі, «IT технология» кафедрасының оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: erkealibekovna887@gmail.com.

**Ahmet Şakir Dokuz** – PhD, «Компьютерлік бағдарламалық қамтамасыз ету» кафедрасының доценті; еш жерде университет Омир Халседемира.

#### Сведения об авторах

**Айдана Дарханқызы Мендебаева** – магистр технических наук, специалист деканата ТОО «Astana IT University» Республика Казахстан; e-mail: aid0904@mail.ru.

**Тұрсынхан Саятұлы Жылқыбаев\*** – магистр технических наук, преподаватель кафедры «IT технологий»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: zhitosya@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8918-527X>.

**Еркежан Алибекқызы Қайыролла** – магистр технических наук, преподаватель кафедры «IT технологий»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: erkealibekovna887@gmail.com.

**Ahmet Şakir Dokuz** – PhD, доцент кафедры «Компьютерное программное обеспечение»; Университет Нигде Омир Хальседемира.

Received 29.08.2024

Accepted 10.09.2024

**D. Myassoyedov, T. Zhylykbayev<sup>\*</sup>, Y. Myassoyedova, K. Zarykbaeva, Y. Ospanov**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street  
<sup>\*</sup>e-mail: zhtosya@mail.ru

## **STRUCTURE OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF TREATMENT FACILITIES OF THE CITY SEMEY**

**Annotation:** *Increasing the efficiency of control of treatment facilities can be achieved by automation of control at the stages of observation, collection, processing and analysis of information by means of mathematical data analysis packages, implementation of automated control systems of technological processes.*

*This article is devoted to the issues of technical modernization of automatic control system of water disposal in Semey city. The need to modernize the concept of building the ACS has arisen in connection with the technical re-equipment of production and introduction of new energy-saving technologies in it.*

*The hypothesis of the research suggests the possibility of improving the efficiency of wastewater treatment facilities of Semey city through the use of modern methods of collection and transmission of technological parameters to the control panel of the dispatcher in order to make operational decisions on the management of technological and technological process of wastewater treatment based on monitoring of equipment operation. Due to the complexity of the whole complex of treatment facilities, the main sewage pumping station (GKNS-2) and air blower pumping station (ABPS) were selected as objects for the development of automated control system of technological parameters (ACS TP).*

*The article considers the proposed structural scheme of the automated system of control of technological parameters of treatment facilities of Semey city, gives a description of each level of the system and the principle of their interaction.*

**Key words:** *control system, treatment facilities, microcontroller, object, wastewater disposal.*

### **Introduction**

Automation of wastewater treatment process has always been of great importance for settlements, and with the increase of anthropogenic load it becomes crucial for the environment. The main purpose of operating and newly designed wastewater treatment plants (TPs) is to reduce costs during operation and improve the quality of wastewater treatment, which is currently an urgent task.

The purpose of the work is to develop the structure of the automated control system of technological parameters (ACS TP) of the Semey TP and its algorithmic, informational and technical support, based on the results of the analysis of the composition and operating modes of the technological equipment of the TP.

### **Conditions and methods of research**

The developed ASC TP is designed for continuous control of operating and limit (emergency) parameters of equipment operation, represented in the form of discrete potential and continuous current signals, with the possibility of graphical display of current information on the panel of controllers and computer monitor of the dispatcher and its saving. ASC TP has a three-level block-modular structure, allowing to configure the system according to the specified operating conditions. The structural diagram of the ASC TP is shown in figure 1 [1, 2].

The first level of the ASC TP is represented by a personal computer of the central control room (CCR), a personal computer of the laboratory technician and microcontrollers of objects (MO), connected by a local network. The number of MOs at this level is determined in accordance with the number of control objects. Information flows at this level are organized as follows. At the request of the CCR computer, the information from the MOs arrives at the CCR, where the computer processes it with its own software and translates it into a graphic and audio interface understandable to the dispatcher, as well as documents and archives it. The information transmission modes are controlled by the CCR computer, which fully controls the information exchange at this level. Setting of the first level of ASC TP is programmatic, because at this level the software environment of the ASC TP dispatcher's computer allows setting up all types of interfaces.

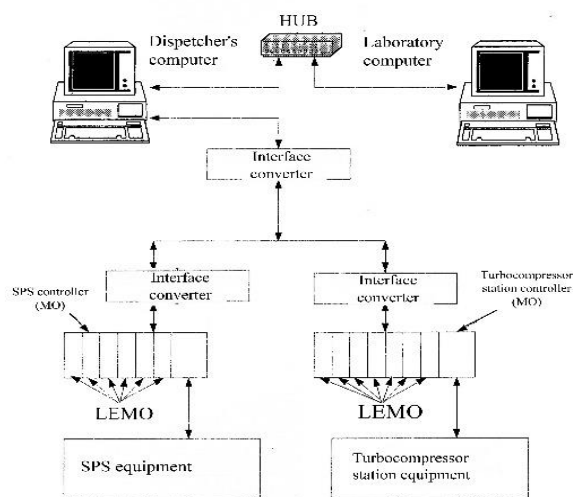


Figure 1 – Structural diagram of ASC TP

The second level of ASC TP is represented by MOs consisting of local equipment microcontrollers (LEMOs). The number of LEMOs in the MOs is determined by the amount of equipment controlled at the facility and is hardware configured during the design and manufacture of the MOs. Information exchange at the second level is provided by ICEs whose hardware is capable of supporting all types of information exchange between the CCR computer and LEMOs. Hardware of the second level sets the addressing of MOs in the address field of the ASC TP. The second level of the ASC TP is configured by hardware in the form of the number of LEMOs included in the MOs and their address in the ASC TP.

The third level of ASC TP is represented by LEMOs directly controlling the parameters of equipment operation. The number of controlled parameters, as well as the type of signals from the control sensors, is determined by the equipment parameters. In the minimum configuration the number of controlled parameters is eight. Setting of the third level of ASC TP software-hardware. Hardware configuration allows you to change the number of monitored parameters of the object, and software configuration allows you to change the algorithms of processing information from the objects of control and transfer it to the first level of ASC TP [3, 4].

### Research results

The number of LEMOs included in the MO depends on the type of facility equipment. The basic MO configuration is as follows:

- The MCO of a sewage pumping station (SPC) contains five eight-channel LEMOs controlling discrete parameters and one LEMOs controlling four level gauges (discrete signals) and four flow meters (current analog signals) or five eight-channel LEMOs controlling discrete parameters, one LEMO controlling four level gauges (discrete signals), two analog continuous level gauges with current outputs and two flow meters with current outputs;
- The turbo compressor station MO contains six eight-channel LEMOs for monitoring discrete parameters and one LEMO for monitoring four level gauges (discrete signals) and four flow meters (analog current signals) or five eight-channel LEMOs for monitoring discrete parameters, one LEMO for monitoring four level gauges (discrete signals), two analog continuous level gauges with current outputs and two flow meters with current outputs [5].

The CCR computer is equipped with special software (SCS) that provides information support for the hardware and software interface between the dispatcher and the MO. The functions of SCS include organization of communication and information exchange between the technical means of the CCR computer and the MO, dynamic processing of information received from the MO, organization of graphic and audio interfaces between the computer and the dispatcher, documentation and archiving of incoming information.

The communication line between the hardware of the first and second level of the ASC TP should meet the requirements of IEEE-488. It is possible to use telephone cable of TPP type in ASC TS. At distances greater than 2000 meters it is recommended to use UTP category 5 cable. It is possible to use radio modems or other technical means capable of connecting the MO with the CCR computer.

As a result of the analysis of literature sources, the information system of parameter control was based on the block-module principle of layout, which implies the identity of all the blocks of one module and the possibility of interchangeability of blocks between different modules. The microcontroller information system of parameter control is designed in such a way that, with appropriate modification, it can realize the functions of controlling the objects of control (Figure 2) [6].

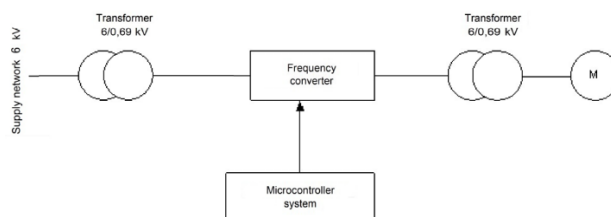


Figure 2 – Structural diagram of the power part of the variable frequency drive controlled by a microcontroller system

The microcontrollers of the information system of each object operate autonomously, controlling the parameters of one object. Thus, each microcontroller information unit contains as many local microcontrollers as there are control objects at the facility. This ASC TP developed for the Semey wastewater treatment plant includes two MCOs controlling the operation of the equipment of the main sewage plant No. 2 and the blower pumping station [7-8].

At the main sewage plant, one MO contains five LEMOs that control the operation parameters and status of five electric motors of sewage pumping pumps, the level in two sewage receiving tanks, the water level in two drainage pits of the engine room and the amount of sewage pumped through two pipelines.

At the blower pumping station, one MO contains six LEMOs that control the operation parameters and status of six turbo compressor motors, water level in the drainage pit of the sludge pumping and service water pump compartments, water level in the service water tank, the amount of sewage fed to the aeration basins through one pipeline and the amount of air fed to the aeration basins through two air ducts.

AISCP MOs operate in the slave mode, i.e. during their work they do not generate requests to the upper-level computer on their own initiative, but only respond to its requests [8-10].

### Conclusion

The developed automated system of control of technological parameters will allow to control the efficiency of technological equipment of Semey TP and manage their work in accordance with the set criteria.

### References

1. Demyanenko A.I. Informatcionnaya sostavlyayushchaya avtomatizirovannoi sistemy kontrolya tekhnologicheskikh parametrov // *Intellektualnaya natsiya: nauka, obrazovanie i innovatsii: Mater. II Mezhdunar. nauchno-prakticheskoi konf./Semei, Kazakhstan, 2011. – Semei, 2011. – S. 183-189.* (In Russian).
2. Shvetsov D. *Intellektualnye sistemy khraneniya dannykh v ASU TP / D. Shvetsov // Control Engineering Rossiya. – 2012. – S. 42-46.* (In Russian).
3. Evstafev K.YU. *Avtomatizatsiya upravleniya materialnymi potokami i oborudovaniem gorodskikh ochistnykh sooruzhenii i sistem: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.13.06 / Evstaf'ev Kirill Yur'evich; Mosk. gos. stroit. un-t. – M., 2006. – 42 s.* (In Russian).
4. Mukhin V.A. *Kur'yanovskie ochistnye sooruzheniya - startovaya ploshchadka dlya noveishikh tekhnologii / V.A. Mukhin // Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – 2011. – № 3. – S. 44-49.* (In Russian).
5. Lunin S.V. *Modernizatsiya i rekonstruktsiya ochistnykh sooruzhenii kanalizatsii goroda-kurorta Anapy / S.V. Lunin // ZHKKH: zhurnal rukovoditelya i glavnogo bukhgaltera. – 2011. – № 9, CH. 1. – S. 69-73.* (In Russian).
6. Shauleva N.M. *Avtomatizatsiya sistem vodospabzheniya i vodootvedeniya: metodicheskie ukazaniya k laboratornym rabotam / N.M. Shauleva; Kemerovo: KuZGTU, 2015. – S. 10-34.* (In English).

7. Vetlugin M.M. A method for improving the accuracy of digital automatic control systems / M.M. Vetlugin // Information technologies in control and learning. MADL (STU). – 2003. – R. 12-16. (In English).
8. Gvozdev V.A. Optimal'noe upravlenie tekhnologicheskim tsiklom na gorodskikh ochistnykh sooruzheniyakh kanalizatsii: diS... kand. tekhn. nauk: 05.23.04 / Gvozdev Vladimir Alekseevich; Novosibirsk: SIBSTRIN, 2004. – 177 s. (In Russian).
9. Tavastsherna K.S. Kompleksnyi podkhod k proektirovaniyu ehffektivnykh kanalizatsionnykh ochistnykh sooruzhenii / K.S. Tavastsherna // Voda i ehkologiya: problemy i resheniya. – 2012. – № 1. – S. 10-26. (In Russian).
10. Melnik E.A. Puti resheniya problemy ehnergosberezheniya v sisteme kanalizovaniya Sankt-Peterburga: [tekhnologii obrabotki osadka stochnykh vod na kanalizatsionnykh ochistnykh sooruzheniyakh] / E.A. Mel'nik, O.N. Rublevskaya // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika. – 2012. – № 12. – S. 45-51. (In Russian).

**Д.В. Мясоедов<sup>1</sup>, Т.С. Жылқыбаев<sup>1\*</sup>, Е.Н. Мясоедова<sup>1</sup>, Қ.С. Зарыкбаева<sup>1</sup>, Е.А. Оспанов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей

\*e-mail: zhtosya@mail.ru

### **СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. СЕМЕЙ**

*Повышение эффективности управления работой очистных сооружений может быть достигнуто за счет автоматизации управления на этапах наблюдения, сбора, обработки и анализа информации средствами пакетов математического анализа данных, внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами.*

*Данная статья посвящена вопросам технической модернизации АСУ ТП водоотведения г. Семей. Потребность в модернизации концепции построения АСУ ТП возникла в связи с техническим перевооружением производства и внедрением в него новых энергосберегающих технологий.*

*Гипотеза исследований предполагает возможность повышения эффективности функционирования очистных сооружений сточных вод г. Семей за счет использования современных методов сбора и передачи технологических параметров на пульт управления диспетчера с целью возможности принятия оперативных решений по управлению технологическим процессом очистки сточных вод на основе мониторинга работы оборудования. В связи со сложностью всего комплекса очистных сооружений в качестве объектов для разработки автоматизированной системы контроля технологических параметров (АСК ТП) выбраны главная канализационная насосная станция (ГКНС-2) и воздухоподводящая насосная станция (ВНС).*

*В статье рассматривается предлагаемая структурная схема автоматизированной системы контроля технологических параметров очистных сооружений г. Семей, дано описание каждого уровня системы и принцип их взаимодействия.*

**Ключевые слова:** система контроля, очистные сооружения, микроконтроллер, объект, водоотведение.

**Д.В. Мясоедов<sup>1</sup>, Т.С. Жылқыбаев<sup>1\*</sup>, Е.Н. Мясоедова<sup>1</sup>, Қ.С. Зарыкбаева<sup>1</sup>, Е.А. Оспанов<sup>1</sup>**

Университет имени Шакарима города Семей

\*e-mail: zhtosya@mail.ru

### **СЕМЕЙ ҚАЛАСЫНЫҢ ТАЗАЛАУ ҚҰРЫЛЫСЫНДАҒЫ ПАРАМЕТРЛЕРДІ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ҚҰРЫЛЫМЫН ЖОБАЛАУ**

*Тазарту қондырғыларының жұмысын басқарудың тиімділігін арттыруға, деректерді математикалық талдау пакеттері арқылы ақпаратты бақылау, жинау, өңдеу және талдау кезеңдерінде басқаруды автоматтандыру, Технологиялық процестерді басқарудың автоматтандырылған жүйелерін енгізу арқылы қол жеткізуге болады.*

*Бұл мақала Семей қаласының су бұру АБЖ техникалық жаңғырту мәселелеріне арналған. ТП АБЖ құру тұжырымдамасын жаңғырту қажеттілігі өндірісті техникалық қайта жарақтандыруға және оған жаңа энергия үнемдеу технологияларын енгізуге байланысты туындады.*

*Зерттеу гипотезасы жабдықтың жұмысын бақылау негізінде ағынды суларды тазартудың технологиялық процесін басқару бойынша жедел шешімдер қабылдау мүмкіндігі үшін диспетчердің басқару пультіне технологиялық параметрлерді жинау мен берудің уақытша әдістерін қолдану арқылы Семей қаласындағы ағынды суларды тазарту қондырғыларының тиімділігін арттыру мүмкіндігін ұсынады. Тазарту құрылыстарының барлық кешенінің күрделілігіне байланысты технологиялық параметрлерді бақылаудың автоматтандырылған жүйесін (ТП АСК) өзірлеу үшін*

объектілер ретінде негізгі кәріз сорғы станциясы (ГКНС-2) және ауа сорғы станциясы (ВНС) таңдалды.

Мақалада Семей қаласының тазарту құрылыстарының технологиялық параметрлерін бақылаудың автоматтандырылған жүйесінің ұсынылған құрылымдық схемасы қарастырылады, жүйенің әр деңгейінің сипаттамасы және олардың өзара әрекеттесу принципі берілген.

**Түйін сөздер:** бақылау жүйесі, тазарту құрылыстары, микроконтроллер, объект, су тарту.

#### Сведения об авторах

**Дмитрий Викторович Мясоедов** – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Автоматизация, информационные технологии и градостроительство»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: Dmitriy880@mail.ru.

**Тұрсынхан Саятұлы Жылқыбаев\*** – магистр технических наук, преподаватель кафедры «Автоматизация, информационные технологии и градостроительств»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: zhitosya@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8918-527X>.

**Екатерина Николаевна Мясоедова** – магистр технических наук, преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: Kate\_white89@mail.ru.

**Камшат Серикхановна Зарыкбаева** – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: kamshat.ru@mail.ru.

**Ербол Амангазович Оспанов** – PhD., ассоц. профессор кафедры «Автоматизация, информационные технологии и градостроительств»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: 78oea@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5342-274X>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Дмитрий Викторович Мясоедов** – техника ғылымдарының магистрі, «Автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қала құрылысы» кафедрасынаға аға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: Dmitriy880@mail.ru.

**Тұрсынхан Саятұлы Жылқыбаев\*** – техника ғылымдарының магистрі, «Автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қала құрылысы» кафедрасының оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы ;e-mail: zhitosya@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8918-527X>.

**Екатерина Николаевна Мясоедова** – техника ғылымдарының магистрі, «Техникалық физика және жылу энергетика» кафедрасынаға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: Kate\_white89@mail.ru.

**Камшат Серикхановна Зарыкбаева** – техника ғылымдарының магистрі, «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасынаға аға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: kamshat.ru@mail.ru.

**Ербол Амангазович Оспанов** – PhD., «Автоматтандыру, ақпараттық технологиялар және қала құрылысы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: 78oea@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5342-274X>.

#### Information about the authors

**Dmitriy Myassoyedov** – Master of Technical Sciences, senior lecturer of the Department «Automatization, Information Technology and Urban Planning»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: Dmitriy880@mail.ru

**Tursynkhan Zhylykybayev\*** – Master of Technical Sciences, lecturer of the Department «Automatization, Information Technology and Urban Planning»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: zhitosya@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8918-527X>.

**Yekaterina Myassoyedova** – Master of Technical Sciences, lecturer of the Department of Applied physics and heat power engineering; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: Kate\_white89@mail.ru

**Kamshat Zarykbaeva** – Master of Technical Sciences, senior lecturer of the Department of Applied physics and heat power engineering; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: kamshat.ru@mail.ru

**Yerbol Ospanov** – PhD, Associate Professor of the Department of Automation, Information Technology and Urban Planning; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: 78oea@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5342-274X>.

Received 28.06.2024

Accepted 02.09.2024



**З.А. Кутпанова\*, Д.Р. Байдаханова, Е.А. Актаев, П.А. Пак**  
Astana IT University,  
010000, Республика Казахстан, г. Астана, проспект Мангилик Ел, 55/11  
\*e-mail: z.kutpanova@astanait.edu.kz

## РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОСЕЩАЕМОСТЬЮ СТУДЕНТОВ

**Аннотация:** В статье рассматривается процесс разработки и внедрения мобильного приложения, предназначенного для автоматизации управления посещаемостью студентов Astana IT University. Приложение реализовано с использованием технологий React Native для кроссплатформенной разработки, что позволяет эффективно работать на устройствах с различными операционными системами, такими как Android и iOS. Для управления базами данных используется облачная платформа Firebase, обеспечивающая надежное хранение и быструю обработку данных. Одним из важных факторов приложения является его масштабируемость. Для реализации гибкости и масштабируемости приложения, а также связи с системой управления обучения, было решено использовать технологию REST API.

Описаны этапы проектирования архитектуры, выбор технологий, алгоритмы обработки данных, визуализация и обеспечение безопасности. При выборе технологий учитывались такие факторы, как удобство использования, скорость разработки и безопасность данных. Особое внимание уделялось алгоритмам обработки данных и их визуализации, чтобы представить пользователям интуитивно понятный интерфейс для отслеживания посещаемости.

Приложение значительно улучшает взаимодействие между студентами и преподавателями с учебной системой, упрощая процесс контроля посещаемости, и обеспечивая прозрачность и автоматизацию процесса учета посещаемости. Разработанное приложение также уменьшает ручной труд и уменьшает вероятность человеческой ошибки.

**Ключевые слова:** мобильное приложение, управление посещаемостью, React Native, Firebase, EdTech, база данных.

### Введение

С переходом образовательных учреждений на цифровые технологии возникает необходимость в эффективных решениях для управления процессами учебной деятельности. Одним из таких процессов является контроль посещаемости студентов, который оказывает значительное влияние на их успеваемость и дисциплину. Традиционные методы контроля, такие как ручные журналы, часто подвержены ошибкам и требуют значительных временных затрат. Поэтому автоматизация этого процесса с помощью мобильных приложений стала актуальной задачей для современных университетов.

Целью данной работы является создание мобильного приложения, которое позволяет преподавателям автоматически фиксировать посещаемость, а студентам – отслеживать свою успеваемость. Приложение должно быть интуитивно понятным, доступным на разных платформах и безопасным с точки зрения хранения и обработки персональных данных.

### Методы исследования

Для разработки мобильного приложения была выбрана технология React Native, которая является мощным инструментом для кроссплатформенной разработки. Использование этой технологии позволило создать приложение, работающее как на iOS, так и на Android, с использованием единого исходного кода. Это значительно сократило время разработки, так как не требовалось создавать отдельные версии для каждой платформы. Кроме того, наличие активного сообщества разработчиков и широкий выбор готовых компонентов в React Native ускорило процесс создания пользовательских интерфейсов и упростило поддержку приложения в будущем [1-4].

В качестве базы данных было выбрано облачное решение MongoDB, которое предоставляет масштабируемую и гибкую NoSQL-структуру для хранения данных. MongoDB была выбрана благодаря её способности эффективно обрабатывать большие объемы данных и легко масштабироваться по мере роста количества пользователей. Использование MongoDB также позволило настроить гибкую схему для хранения информации о студентах и

их посещаемости, что делает систему более адаптируемой к изменениям в будущем. Кроме того, MongoDB предлагает высокую скорость обработки запросов, что делает её идеальной для мобильных приложений, требующих быстрой реакции и работы с большими данными [5-7].

Для взаимодействия с системой управления обучением была реализована архитектура, основанная на использовании REST API. Это позволило построить гибкую и масштабируемую систему для передачи данных о студентах и их активности, а также автоматизировать процесс регистрации посещаемости. REST API позволил упростить процесс интеграции приложения с внешними системами и значительно сократил количество ручных операций, что в свою очередь улучшило удобство использования и повысило производительность системы. Архитектура приложения была спроектирована с учетом будущих масштабируемых решений, что позволяет легко адаптировать его для других учебных заведений или интеграции с дополнительными модулями в дальнейшем [6-9].

### Результаты исследований

В ходе разработки было реализовано несколько ключевых функций приложения. Во-первых, была создана система аутентификации пользователей (рис. 1,2), позволяющая преподавателям и студентам безопасно входить в систему через свои учетные данные. Во-вторых, интерфейс приложения был разработан таким образом, чтобы упростить взаимодействие с ним даже для пользователей без технической подготовки. Преподаватели могут легко выбрать предмет, отметить студентов как присутствующих или отсутствующих и мгновенно синхронизировать данные с базой.

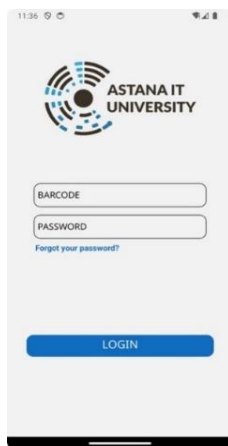


Рисунок 1 – Страница авторизации в приложении

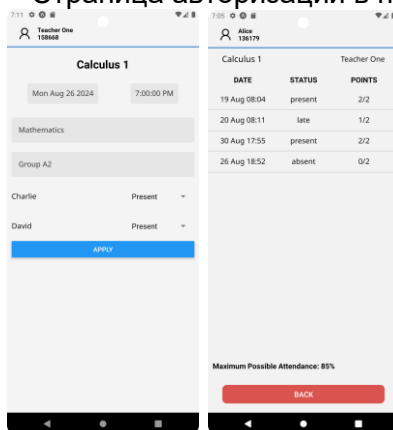


Рисунок 2 – Статистика посещаемости студента. Со стороны преподавателя и студента

Третьим важным результатом является система визуализации данных. Приложение предоставляет статистику посещаемости для студентов и преподавателей в виде графиков и таблиц, что упрощает анализ посещаемости и успеваемости. Для тестирования системы было проведено несколько этапов: функциональное тестирование, проверка нагрузки и безопасности данных [10, 11]. Все результаты показали, что приложение соответствует требованиям по стабильности и производительности.

## Обсуждение научных результатов

Разработка мобильного приложения для управления посещаемостью студентов показала высокую эффективность в автоматизации процесса учета посещаемости. Основной сложностью в ходе разработки стало обеспечение безопасности персональных данных студентов, что требовало строгого соответствия современным стандартам защиты, таким как GDPR и национальным законодательным требованиям. Кроме того, важным аспектом разработки стало обеспечение масштабируемости приложения, что позволит его легко адаптировать для использования в других образовательных учреждениях без значительных изменений в архитектуре системы.

## Заключение

Созданное мобильное приложение для управления посещаемостью студентов внесло существенные улучшения в процесс контроля за посещаемостью, сделав его более прозрачным, автоматизированным и удобным для всех участников учебного процесса. Приложение значительно упрощает работу преподавателей, предоставляя им быстрый и удобный инструмент для учета посещаемости, что сокращает ручной труд и снижает вероятность ошибок. Студенты, в свою очередь, получают доступ к актуальной информации о своем посещении занятий, что помогает им более осознанно подходить к учебной дисциплине и своевременно реагировать на возможные проблемы.

Одним из ключевых преимуществ приложения является его универсальность и возможность использования на различных устройствах, что делает его доступным как для преподавателей, так и для студентов в любом месте и в любое время. Этот аспект особенно важен в условиях роста потребности в гибкости и мобильности в образовательном процессе.

В будущем планируется расширить функционал приложения, добавив возможность отправки уведомлений студентам о пропущенных занятиях, а также улучшить инструменты для анализа данных посещаемости. Такие функции позволят преподавателям более детально анализировать участие студентов в учебном процессе, а студентам – получать оперативные напоминания и рекомендации, что повысит их вовлеченность и успеваемость.

Кроме того, дальнейшая работа над приложением может включать интеграцию с другими элементами учебного процесса, такими как задания и оценки, что создаст комплексную систему управления учебной деятельностью студентов. Все это подчеркивает важность использования современных цифровых технологий в образовании для повышения эффективности и качества учебного процесса.

Таким образом, разработка и внедрение данного мобильного приложения подтверждают необходимость цифровизации образовательных процессов и демонстрируют, как технологии могут способствовать не только автоматизации рутинных задач, но и созданию более прозрачной, доступной и ориентированной на пользователя образовательной среды.

## Список литературы

1. Brown A. The Essentials of Instructional Design: Connecting Fundamental Principles with Process and Practice. Routledge / A. Brown, T.D. Green. – 2016. – 233 p.
2. Kukulska-Hulme A. Will mobile learning change language learning? / A. Kukulska-Hulme // ReCALL. – 2009. – № 21(2). <https://doi.org/10.1017/S0958344009000202>.
3. Wang Y. Investigating the determinants and age and gender differences in the acceptance of mobile learning / Y. Wang, M. Wu, H. Wang // British Journal of Educational Technology. – 2009. – № 40(1).
4. Mobile Learning: Small Devices, Big Issues / M. Sharples et al // Technology-Enhanced Learning: Principles and Products. – 2009. [https://www.researchgate.net/publication/44909945\\_Mobile\\_Learning\\_Small\\_Devices\\_Big\\_Issues](https://www.researchgate.net/publication/44909945_Mobile_Learning_Small_Devices_Big_Issues)
5. Traxler J. Mobile learning: The future of learning in the palm of your hand / J. Traxler // Education and Training. – 2005. – № 46(1).
6. Traxler J. Mobile Learning: New Insights, Contributions, and Perspectives. Routledge / J. Traxler, H. Crompton. – 2018. – 222 p.
7. Gikas J. Mobile computing devices in higher education: Student perspectives on learning with cellphones, smartphones & social media / J. Gikas, M.M. Grant // Internet and Higher Education. – 2013. – № 19.
8. Attewell J. Mobile Learning Anytime Everywhere: A Book of Papers from MLEARN / J. Attewell, C. Savill-Smith // Learning and Skills Development Agency, 2004. – 242 p.

9. Crompton H. Mobile Learning and Higher Education: Challenges in Context / H. Crompton, D. Burke – 2021. – 222 p.
10. ISO/IEC 27001:2013 – Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements. – 2013. – 28 p.
11. Закон Республики Казахстан от 21 мая 2013 года N 94-V О персональных данных и их защите. – МЮ РК. – 27 с.

### References

1. Brown A. The Essentials of Instructional Design: Connecting Fundamental Principles with Process and Practice. Routledge / A. Brown, T.D. Green. – 2016. – 233 r. (In English).
2. Kukulska-Hulme A. Will mobile learning change language learning? / A. Kukulska-Hulme // ReCALL. – 2009. – № 21(2). <https://doi.org/10.1017/S0958344009000202>. (In English).
3. Wang Y. Investigating the determinants and age and gender differences in the acceptance of mobile learning / Y. Wang, M. Wu, H. Wang // British Journal of Educational Technology. – 2009. – № 40(1). (In English).
4. Mobile Learning: Small Devices, Big Issues / M. Sharples et al // Technology-Enhanced Learning: Principles and Products. – 2009. [https://www.researchgate.net/publication/44909945\\_Mobile\\_Learning\\_Small\\_Devices\\_Big\\_Issues](https://www.researchgate.net/publication/44909945_Mobile_Learning_Small_Devices_Big_Issues). (In English).
5. Traxler J. Mobile learning: The future of learning in the palm of your hand / J. Traxler // Education and Training. – 2005. – № 46(1). (In English).
6. Traxler J. Mobile Learning: New Insights, Contributions, and Perspectives. Routledge / J. Traxler, H. Crompton. – 2018. – 222 r. (In English).
7. Gikas J. Mobile computing devices in higher education: Student perspectives on learning with cellphones, smartphones & social media / J. Gikas, M.M. Grant // Internet and Higher Education. – 2013. – № 19. (In English).
8. Attewell J. Mobile Learning Anytime Everywhere: A Book of Papers from MLEARN / J. Attewell, C. Savill-Smith // Learning and Skills Development Agency, 2004. – 242 r. (In English).
9. Crompton H. Mobile Learning and Higher Education: Challenges in Context / H. Crompton, D. Burke – 2021. – 222 r. (In English).
10. ISO/IEC 27001:2013 – Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements. – 2013. – 28 r. (In English).
11. Zakon Respubliki Kazakhstan ot 21 maya 2013 goda N 94-V O personal'nykh dannykh i ikh zashchite. – MYU RK. – 27 s. (In Russian).

**З.А. Кутпанова\*, Д.Р. Байдаханова, Е.А. Актаев, П.А. Пак**

Астана ІТ университеті,

010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Мәңгілік Ел даңғылы, 55/1

\*e-mail: Z.Kutpanova@astanait.edu.kz

### СТУДЕНТТЕРДІҢ САБАҚҚА ҚАТЫСУЫН БАСҚАРУ ҮШІН МОБИЛЬДІ ҚОСЫМША ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЕНГІЗУ

*Мақалада Astana IT University студенттерінің сабаққа қатысуын басқаруды автоматтандыруға арналған мобильді қосымшаны өзірлеу және енгізу процесі қарастырылады. Қолданба Android және iOS сияқты әртүрлі операциялық жүйелері бар құрылғыларда тиімді жұмыс істеуге мүмкіндік беретін кросс-платформаны өзірлеу үшін React Native технологияларын қолдану арқылы жүзеге асырылады. Деректер базасын басқару үшін Firebase бұлтты платформасы қолданылады, ол деректерді сенімді сақтау мен жылдам өңдеуді қамтамасыз етеді. Қолданбаның маңызды факторларының бірі-оның ауқымдылығы. Қолданбаның икемділігі мен ауқымдылығын, сондай-ақ оқитуды басқару жүйесімен байланысты жүзеге асыру үшін REST API технологиясын пайдалану туралы шешім қабылданды.*

*Архитектураны жобалау кезеңдері, технологияны таңдау, деректерді өңдеу алгоритмдері, визуализация және қауіпсіздікті қамтамасыз ету сипатталған. Технологияны таңдау ыңғайлылық, даму жылдамдығы және деректер қауіпсіздігі сияқты факторларды қарастырды. Пайдаланушыларға трафикті бақылау үшін интуитивті интерфейсті ұсыну үшін деректерді өңдеу және визуализация алгоритмдеріне ерекше назар аударылды.*

*Қолданба студенттер мен оқытушылардың оқу жүйесімен өзара әрекеттесуін айтарлықтай жақсартады, сабаққа қатысуды бақылау процесін жеңілдетеді және сабаққа*

қатысуды есепке алу процесінің ашықтығы мен автоматтандырылуын қамтамасыз етеді. Әзірленген қосымша қол еңбегін азайтады және адамның қателігін азайтады.

**Түйін сөздер:** мобильді қосымша, қатысуды басқару, React Native, Firebase, EdTech, мәліметтер базасы.

**Z.A. Kutpanova\*, D.R. Baidakhanova, E. A. Aktayev, P.A. Pak**  
Astana IT University,  
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Mangilik El avenue, 55/11  
\*e-mail: z.kutpanova@astanait.edu.kz

## **DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A MOBILE APPLICATION FOR STUDENT ATTENDANCE MANAGEMENT**

*The article deals with the process of development and implementation of a mobile application, designed to automate the attendance management of students of Astana IT University. The application is implemented using React Native technologies for cross-platform development, which allows to work effectively on devices. cross-platform development, which allows it to work effectively on devices with different operating systems, such as Android and iOS. with different operating systems, such as Android and iOS. For database management uses the Firebase cloud platform, which provides reliable storage and fast processing of databases. reliable storage and fast data processing. One of the important factors of the application is its scalability. To realize the flexibility and scalability of the application, as well as communication with the learning management system, it was It was decided to use the REST API technology.*

*The stages of architecture design, technology selection, data processing algorithms, visualization and security are described. Factors such as usability, speed of development, and data security were considered when selecting technologies. Special attention was paid to data processing algorithms and data visualization to present users with an intuitive interface for tracking attendance.*

*The application significantly improves the interaction between students and faculty with the learning system, simplifying the process of attendance tracking, and providing transparency and automation of the attendance process. The developed application also reduces manual labor and reduces the possibility of human error.*

**Key words:** mobile app, attendance management, React Native, Firebase, EdTech, database.

### **Сведения об авторах**

**Зарина Алмабековна Кутпанова\*** – научный руководитель, сеньор-лектор кафедры «Computer Engineering»; Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана; e-mail: Z.Kutpanova@astanait.edu.kz.

**Дильназа Ринатовна Байдаханова** – студентка бакалавриата специальности «Computer Engineering»; Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана; e-mail: mailto:dilnazbaidakhanova@gmail.com.

**Ерик Аскарлович Актаев** – студент бакалавриата специальности «Computer Engineering»; Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана; e-mail: aktaeverikwork@gmail.com.

**Павел Александрович Пак** – студент бакалавриата специальности «Computer Engineering»; Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана; e-mail: park.park.pavel04@gmail.com.

### **Авторлар туралы ақпарат**

**Зарина Алмабековна Құтпанова\*** – ғылыми жетекші, «Computer Engineering» кафедрасының аға оқытушысы; Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.; e-mail: Z.Kutpanova@astanait.edu.kz.

**Дильназа Ринатовна Байдаханова** – «Computer Engineering» мамандығының бакалавриат студенті; Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.; e-mail: dilnazbaidakhanova@gmail.com.

**Ерик Аскарлович Актаев** – «Computer Engineering» мамандығының бакалавриат студенті; Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.; e-mail: aktaeverikwork@gmail.com.

**Павел Александрович Пак** – «Computer Engineering» мамандығының бакалавриат студенті; Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.; e-mail: park.pavel04@gmail.com.

### **Information about the authors**

**Zarina Almabekovna Kutpanova\*** – scientific supervisor, senior lecturer of the Department of Computer Engineering; Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: mailto:Z.Kutpanova@astanait.edu.kz.

**Dilnaza Rinatovna Baidakhanova** – undergraduate student of the specialty @Computer Engineering@; Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: dilnazbaidakhanova@gmail.com.

**Erik Askarovich Aktayev** – undergraduate student of the specialty @Computer Engineering@; Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: aktaeverikwork@gmail.com.

**Pavel Aleksandrovich Pak** – undergraduate student of the specialty @Computer Engineering@; Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan; e-mail: park.pavel04@gmail.com.

Поступила в редакцию 07.08.2024

Принята к публикации 12.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-6](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-6)



MPHTI: 20.15.05



**V. Shumkin\*, S. Kaysanov**

Shakarim University of Semey,

071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street

e-mail: shumkin1999@list.ru

## AUTOMATION OF DATA ANALYSIS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

**Annotation:** *The article discusses modern approaches to automating data analysis using artificial intelligence (AI) methods. With the rapid growth of data volumes entering various systems, their analysis and processing are becoming a complex task. Automating these processes with AI allows us to increase the efficiency and accuracy of data analysis, minimize the human factor, and speed up decision-making. The article discusses machine learning and deep learning methods used to automate data analysis, as well as examples of their application in various industries, such as finance, medicine, industry, and marketing. Particular attention is paid to the advantages and limitations of existing approaches, as well as prospects for their further development. The article discusses in detail the conditions and methods of research aimed at studying and evaluating the effectiveness of various AI models in automating data analysis. The obtained results are analyzed and prospects for further development of AI technologies in this area are discussed. The study emphasizes the importance of interpretability of AI models, the need to develop new methods that can effectively work with limited and noisy data, as well as reducing the computational costs associated with their use.*

**Key words:** *automation of data analysis, artificial intelligence, machine learning, deep learning, big data, intelligent systems.*

### Introduction

With the development of digital technologies, the volume of data generated by various devices and systems continues to grow exponentially. According to experts, by 2025, the amount of data in the world will reach 175 zettabytes (ZB) [1]. In this regard, the need for effective methods of analyzing and processing information increases. Traditional approaches to data analysis do not always cope with such volumes, which leads to the need to automate the data analysis process.

Artificial intelligence methods, especially machine learning (ML) and deep learning (DL), open up new opportunities for automating data analysis. They allow you to create models that can independently learn from data and make predictions with high accuracy [2]. These methods have already found wide application in various industries, including finance, healthcare, industry and marketing.

The purpose of this article is to review modern methods of automating data analysis using AI, as well as discuss their advantages, limitations and development prospects.

### Research Setting and Methods

For the analysis, various approaches and methods for automating data analysis were studied, including classical machine learning algorithms such as linear regression, decision trees, and random forests [3], as well as more modern approaches using neural networks and deep learning [4]. To evaluate the effectiveness of these methods, data from various sources were used, including open datasets from the fields of finance, medicine, and industry [5].

The Python and R programming languages were used for data analysis, as well as specialized libraries such as TensorFlow and PyTorch for working with neural networks [6]. The metrics for assessing the quality of the models included accuracy, recall, F-measure, and ROC curves.

The study was conducted based on the following conditions:

**Study Objects:** The study objects were diverse datasets from various industries such as finance, medicine, manufacturing, and marketing. These datasets included structured and unstructured data, images, texts, and numeric data. Examples of such datasets include financial transactions, medical images (e.g., MRI or X-ray), industrial sensory data, and customer reviews.

**Selection of AI methods:** The study used both traditional machine learning methods (e.g., linear regression, decision trees, random forests) and more modern deep learning methods (e.g., convolutional neural networks (CNNs), recurrent neural networks (RNNs), transformers).

**Technical resources:** The study was conducted using high-performance computing resources, including graphics processing units (GPUs) to accelerate the training of deep learning models. This allowed for experiments with large amounts of data and complex models that require significant computing power.

**Software tools:** Modern software tools and libraries such as Python and R, as well as specialized libraries for working with AI and machine learning: TensorFlow, Keras, PyTorch, Scikit-Learn and others were used to develop and train the models.

The study included several key steps related to the automation of data analysis using AI methods:

**Data collection and preprocessing:** This step involved collecting data from various sources (e.g. Kaggle, UCI Machine Learning Repository) and preprocessing it, including cleaning, normalizing, and transforming the data into formats suitable for use in machine and deep learning models. This included handling missing values, removing outliers, categorizing, and scaling features.

**Model development and training:** For each type of data, appropriate models were developed and trained. For example, recurrent neural networks (RNNs) were used for time series analysis, convolutional neural networks (CNNs) for image classification, and transformer-based models (e.g. BERT) for text analysis. The models were trained on training datasets, and their hyperparameters were selected using grid search or Bayesian optimization methods.

**Model Quality Assessment:** Trained models were evaluated on test datasets using various metrics such as accuracy, recall, F1-score, and area under the ROC curve (AUC-ROC). Cross-validation methods were used to assess the models' resistance to overfitting.

**Analysis and Interpretation of Results:** At this stage, the obtained results were analyzed to identify patterns and test hypotheses. Interpretable AI methods (e.g., LIME, SHAP) were used to interpret the models and explain their predictions, which made it possible to understand which features most strongly influence the model's decisions.

**Testing and Implementation:** At the final stage, the models were tested in conditions close to real ones in order to assess their performance and reliability. For models that showed high results, prototypes were developed for implementation in production systems.

**Efficiency Analysis and Optimization:** After the models were implemented, their efficiency was analyzed in real conditions. To achieve this, A/B testing and monitoring methods were used to assess the impact of data analysis automation on processes and identify potential areas for further improvement and optimization.

## **Research Results**

The results of the study showed that AI methods, especially deep learning, can significantly improve the accuracy and speed of data analysis compared to traditional methods. For example, in medicine, neural networks have shown excellent results in image recognition and diagnosis of diseases such as cancer. In finance, machine learning methods have improved risk prediction and fraud detection [7].

In addition, it has been found that the automation of data analysis using AI can significantly reduce the time it takes to process and analyze large amounts of data. In industry, this leads to increased efficiency of production processes and reduced costs.

In industry, automated data analysis using AI has found application in the tasks of predicting equipment failures and optimizing production processes. A study by Lee et al. (2013) describes the use of machine learning to predict equipment failures on production lines, which allows for preventive maintenance before problems occur [8]. The use of predictive analysis algorithms, such as regression models and neural networks, has increased the accuracy of failure prediction to 90%. This significantly reduces equipment downtime and repair costs.

In addition, automated data analysis has helped improve quality control processes. The use of CNN for automatic inspection and defect analysis on production lines has reduced the number of

defects by 25% and improved product quality. Such improvements were achieved due to the ability to analyze high-resolution images and detect small defects that are difficult to notice with the naked eye.

### **Discussion of scientific results**

The results obtained confirm the effectiveness of using AI to automate data analysis in various industries. However, despite the obvious advantages, there are also certain limitations. Firstly, the implementation of AI requires significant computing resources and highly qualified specialists. Secondly, AI algorithms can be subject to errors and distortions in data, which requires constant monitoring and adjustment of models [9].

In the future, we can expect further development of AI methods, including improved learning algorithms, increased interpretability of models, and reduced computational costs. It is also important to consider the ethical aspects of AI application, including privacy and data protection issues.

The results of this study confirm the significant potential of artificial intelligence (AI) methods in automating data analysis. The discussion of these results allows us not only to evaluate current achievements, but also to identify the prospects, challenges, and limitations faced by the use of AI in various industries. Below is a detailed discussion of the key aspects.

#### **1. Accuracy and performance of AI methods**

The main results show that AI methods, such as machine and deep learning, significantly improve the accuracy and speed of data analysis. In particular, the use of convolutional neural networks (CNN) in medicine has demonstrated impressive accuracy in diagnosing diseases based on images, comparable to the results obtained by qualified dermatologists [10]. This opens up new opportunities for automating diagnostics and early detection of diseases, which is especially important in the context of a shortage of medical personnel and the need to process large volumes of data.

On the other hand, despite the high accuracy, the use of AI in medicine requires strict control and validation to avoid errors that can lead to negative consequences for patients. This highlights the importance of developments in interpretable AI, where methods such as LIME and SHAP make it possible to explain model predictions and make them more transparent to users .

#### **2. Application of AI in Finance**

In the financial sector, the use of machine learning algorithms for fraud detection and risk management has also proven to be effective. Algorithms such as random forests and gradient boosting can significantly improve the accuracy of fraudulent transaction detection and reduce false positives. This not only helps financial institutions protect themselves from losses, but also improves customer experience by reducing unnecessary transaction blocking.

However, the implementation of AI in finance also faces challenges related to model interpretation and regulatory compliance. Financial regulators require companies to explain automated decisions, especially in cases of loan or other financial product denials. This requires additional research and development in the field of creating transparent and interpretable models that are not only effective but also compliant with legal requirements and ethical standards.

#### **3. Optimization of production processes**

In industry, AI has demonstrated significant success in predicting equipment failures and optimizing production processes. The use of predictive analysis methods such as regression models and neural networks allows for early detection of potential faults and maintenance planning, which reduces equipment downtime and repair costs. In addition, automation of quality control using CNNs enables more accurate detection of defects on production lines, which leads to improved product quality and reduced losses [11].

However, the implementation of AI in production processes requires significant investments in infrastructure and personnel training. It is important to consider that the successful application of AI depends not only on the quality of models and data, but also on the company's readiness for organizational change and the adaptation of new technologies. This highlights the importance of strategic planning and change management when implementing AI in manufacturing.

#### **4. Limitations and Challenges**

Despite significant advances, there are certain limitations and challenges in applying AI to automate data analysis:

**Need for high-quality data:** Training effective AI models requires a large amount of high-quality data. Insufficient data or poor quality data can result in models with low accuracy and



reliability. This is especially true for industries where data collection is difficult or the data contains a lot of noise and outliers.

High computational costs: Training complex deep learning models requires significant computing resources, such as graphics processing units (GPUs) or tensor processing units (TPUs). This creates barriers for small and medium-sized companies that may not have access to such resources.

Ethical and legal aspects: The implementation of AI raises questions of ethics and data privacy, especially in sensitive areas such as medicine and finance. The need to protect data and ensure the fairness of algorithms is becoming an important aspect in the development and application of AI [12].

#### 5. Prospects and directions for further research

The results of this study highlight the need for further developments in the field of interpretable AI, which will improve the transparency and explainability of model decisions, which is especially important in critical industries. In addition, an important direction is the development of methods that can effectively work with.

#### Conclusion

Automation of data analysis using artificial intelligence methods opens up new opportunities for efficient and accurate analysis of large volumes of information. This article has reviewed the main AI methods, their advantages and limitations, as well as application examples in various industries. Despite the existing challenges, further development of AI technologies promises significant improvements in the field of data analysis automation.

Future developments in AI technologies will focus on improving learning algorithms, reducing computational costs, and increasing the interpretability of models. One of the key areas of research is to create models that are more robust to noise and data distortions, which will allow AI to be applied in real-world settings with even greater efficiency [13]. We should also expect the emergence of more advanced methods for processing and analyzing unstructured data, such as texts and images, which will open up new opportunities for automating data analysis in various industries.

In conclusion, the automation of data analysis using artificial intelligence methods is a powerful tool that is already having a significant impact on various industries and fields of activity. However, to maximize the potential of AI, it is necessary to consider both the technical and ethical aspects of its application, ensuring sustainable and responsible development of technologies in the future.

#### References

1. Reinsel D. The Digitization of the World From Edge to Core / D. Reinsel, J. Gantz, J. Rydning. – 2018. – 28 p.
2. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks / A. Esteva et al // *Nature*. – 2017. – № 542(7639). – P. 115-118.
3. Wang F. AI in Health: State of the Art, Challenges, and Future Directions / F. Wang, A. Preininger // *Yearbook of Medical Informatics*. – 2019. – № 28(01). – P. 16-26.
5. Kshetri N. Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. / N. Kshetri // *International Journal of Information Management*. – 2017. – № 39. – P. 80-89.
6. LeCun Y. Deep learning / Y. LeCun, Y. Bengio, G. Hinton // *Nature*. – 2015. – № 521(7553). – P. 436-444.
7. UCI Machine Learning Repository. (n.d.). <https://archive.ics.uci.edu/ml/index.php>, (date accessed: 27.08.2024)
8. TensorFlow: A System for Large-Scale Machine Learning / M. Abadi et al // *OSDI*. – 2016. – № 16. – P. 265-283.
9. Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search / D. Silver et al // *Nature*. – 2016. – № 529(7587). – P. 484-489.
10. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks / A. Esteva et al // *Nature*. – 2017. – № 542(7639). – P. 115-118.
11. Bolton, R.J. Statistical fraud detection: A review. / R.J. Bolton, D.J. Hand // *Statistical Science*. – 2002. – № 17(3). – P. 235-255.
12. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment / J. Lee et al // *Manufacturing Letters*. – 2013. – № 1(1). – P. 38-41.
13. Jordan M.I. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects / M.I. Jordan, T.M. Mitchell // *Science*. – 2015. – № 349(6245). – P. 255-260.

**В.И. Шумкин\*, С.Б. Кайсанов**  
Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А  
\*e-mail: shumkin1999@list.ru

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

*В статье рассматриваются современные подходы к автоматизации анализа данных с использованием методов искусственного интеллекта (ИИ). В условиях стремительного роста объемов данных, поступающих в различные системы, их анализ и обработка становятся сложной задачей. Автоматизация этих процессов с помощью ИИ позволяет повысить эффективность и точность анализа данных, минимизировать человеческий фактор и ускорить принятие решений. В статье обсуждаются методы машинного обучения и глубинного обучения, используемые для автоматизации анализа данных, а также примеры их применения в различных отраслях, таких как финансы, медицина, промышленность и маркетинг. Особое внимание уделяется преимуществам и ограничениям существующих подходов, а также перспективам их дальнейшего развития. В статье подробно рассматриваются условия и методы исследования, направленные на изучение и оценку эффективности различных моделей ИИ в автоматизации анализа данных. Проводится анализ полученных результатов и обсуждаются перспективы дальнейшего развития технологий ИИ в этой области. Исследование подчеркивает важность интерпретируемости моделей ИИ, необходимости разработки новых методов, способных эффективно работать с ограниченными и шумными данными, а также снижения вычислительных затрат, связанных с их применением.*

**Ключевые слова:** автоматизация анализа данных, искусственный интеллект, машинное обучение, глубинное обучение, большие данные, интеллектуальные системы.

**В.И. Шумкин\*, С.Б. Кайсанов**  
Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20 А  
\*e-mail: shumkin1999@list.ru

## **ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІК ӘДІСТЕРДІ ПАЙДАЛАНАТЫН ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ**

*Мақалада жасанды интеллект (AI) әдістерін пайдалана отырып, деректерді талдауды автоматтандырудың заманауи тәсілдері талқыланады. Әртүрлі жүйелерге түсетін деректер көлемінің жылдам өсуімен оларды талдау және өңдеу күрделі міндетке айналады. Бұл процестерді AI көмегімен автоматтандыру деректерді талдаудың тиімділігі мен дәлдігін жақсартады, адам қатесін азайтады және шешім қабылдауды жылдамдатады. Мақалада деректерді талдауды автоматтандыру үшін қолданылатын машиналық оқыту және терең оқыту әдістері, сондай-ақ оларды қаржы, медицина, өндіріс және маркетинг сияқты әртүрлі салаларда қолдану мысалдары қарастырылады. Қолданыстағы тәсілдердің артықшылықтары мен шектеулеріне, сондай-ақ оларды одан әрі дамыту перспективаларына ерекше назар аударылады. Мақалада деректерді талдауды автоматтандыруда әртүрлі AI модельдерінің тиімділігін зерттеуге және бағалауға бағытталған шарттар мен зерттеу әдістері егжей-тегжейлі қарастырылады. Алынған нәтижелер талданады және осы саладағы AI технологияларын одан әрі дамыту перспективалары талқыланады. Зерттеу AI үлгілерінің интерпретациялануының маңыздылығын, шектеулі және шулы деректермен тиімді жұмыс істей алатын жаңа әдістерді өзірлеу қажеттілігін және оларды пайдаланумен байланысты есептеу шығындарын азайтуды көрсетеді.*

**Түйін сөздер:** деректерді талдауды автоматтандыру, жасанды интеллект, машиналық оқыту, терең оқыту, үлкен деректер, интеллектуалды жүйелер.

### **Information about the authors**

**Vladislav Shumkin\*** – Master of Technical Sciences, lecturer of the Department «IT Technology»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: shumkin1999@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0652-5603>.

**Sovetkazy Kaysanov** – lecturer of the Department «IT Technology»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: kaisanov@mail.ru.

### **Сведения об авторах**

**Владислав Игоревич Шумкин\*** – магистр технических наук, преподаватель кафедры «IT-технологий»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: shumkin1999@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0652-5603>.

**Советказы Бекенович Кайсанов** – преподаватель кафедры «IT-технологий»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: kaisanov@mail.ru.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Владислав Игоревич Шумкин\*** – техника ғылымдарының магистрі, «IT технологиялар» кафедрасының оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: shumkin1999@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0652-5603>.

**Советказы Бекенович Кайсанов** – «IT технологиялар» кафедрасының оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: kaisanov@mail.ru.

Received 01.08.2024

Revised 28.08.2024

Accepted 12.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-7](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-7)



FTAXP: 81.93.29



#### **А. Бимырзақызы\*, Ж.М. Алимжанова**

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,  
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, Әл-Фараби даңғылы, 71  
\*e-mail: akerkebeimirzakizi@gmail.com

### **ЗЕРТТЕУ АРҚЫЛЫ КИБЕРҚАУІПТЕРДІ АНЫҚТАУ**

**Аңдатпа:** Жұмыста киберқауіптерді анықтау үшін қолданылатын әлеуметтік желілерді талдаудың негізгі әдістеріне шолу берілген. Әлеуметтік желілердегі қауіптердің негізгі түрлері көрсетілген және олардың алдын алудың кейбір қорғау әдістері сипатталған. Киберқауіптерді анықтауға бағытталған әлеуметтік желіні талдаудың типтік міндеттері, мысалы, желідегі қауымдастықтарды анықтау, қауымдастықтардағы көшбасшылар мен сарапшыларды анықтау, қауымдастықтардың тұрақтылығын талдау, мәтіндік ақпаратты кластерлеу және т.б. Цифрландыруды ұлғайту және әлеуметтік желілерді коммуникация құралы ретінде белсенді пайдалану жағдайында киберқауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін тиімді мониторинг пен деректерді талдаудың маңыздылығы барған сайын өзекті бола түсуде. Әлеуметтік желілердегі деректердің үлкен көлемін өңдеуге байланысты күрделіліктер мен қиындықтар, соның ішінде құпиялылық мәселелері мен пайдаланушы деректерін бақылаудың этикалық аспектілері де талданады. Зерттеу әлеуметтік желіні киберқауіптерді белсенді түрде анықтау және алдын алу құралы ретінде пайдаланудың тұтас көрінісін ұсынады, аналитикалық жүйелерді ұйымдар мен жеке тұлғалардың жалпы киберқауіпсіздік шеңберіне біріктірудің маңыздылығын көрсетеді. Зерттеу әлеуметтік желіні киберқауіптерді белсенді анықтау және алдын алу құралы ретінде пайдаланудың тұтас көрінісін береді, аналитикалық жүйелерді ұйымдар мен жеке тұлғалардың жалпы киберқауіпсіздік ұстанымына біріктірудің маңыздылығын көрсетеді, сонымен бірге машиналық оқытуды жақсарту қажеттілігіне назар аударады және сандық ортадағы қауіптердің алдын алу мен бейтараптандырудың тиімдірек болуына ықпал ете алатын пайдаланушы мінез-құлқын және қауымдастық динамикасын тереңірек және дәлірек талдауға арналған жасанды интеллект әдістері.

**Түйін сөздер:** әлеуметтік желіні талдау, фишинг, киберқауіптер, көшбасшыны анықтау әдістері, ақпараттың шығуы, Advanced Persistent Threat (APT) шабуылдары.

#### **Кіріспе**

Әлеуметтік желілердің қарқынды дамуы және олардың мәліметтерді жинақтау қабілеті олардың аналитикасына деген қызығушылықты арттырды және таланттарды иемдену, кәсіби топтастыру, әлеуметтік ұсыныстар, маркетинг, қоғаммен байланыс және жарнама сияқты көптеген салаларда қолданылатын жаңа әдістерді жасауға ықпал етті. Әлеуметтік желіні талдау қазіргі уақытта экономикалық және басқарушылық процестер мен құбылыстарды зерттеу үшін белсенді түрде қолданылады. Сондай-ақ ол жеке басын ұрлаумен, интернет-алаяқтықпен, киберқауіптермен, бағалы қағаздармен айла-шарғы жасау және инвестициялық алаяқтықпен күресу үшін, сондай-ақ қылмыстың алдын алу және басқа да осыған ұқсас мәселелерді шешу үшін қолданылады [1].

Осыған байланысты әлеуметтік желілер ақпараттық өріске және адамдардың психологиясына әсер ету үшін көбірек қолданылады. Олар қоғамдық пікірді қалыптастыруда,

негізгі саяси, экономикалық және әскери шешімдерді қабылдауда, жаудың ақпараттық активтеріне әсер етуде және әдейі дайындалған ақпаратты таратуда маңызды рөл атқарады [2]. Әлеуметтік желілерде деректерді жинау, мониторинг және талдау ақпараттық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің маңызды және өзекті міндеттері болып табылады. Бұл жұмыстың негізгі мақсаты – осы саладағы қауіптерді анықтауға, алдын алуға және оларға қарсы күресуге бағытталған әлеуметтік желілерді талдаудың негізгі әдістері мен міндеттерін қарастыру және бағалау [3].

### **Әлеуметтік желілердегі қауіптер және алдын алу шаралары**

Әлеуметтік желіні талдау киберқауіпсіздік саласында, әсіресе киберқауіптерді анықтау және алдын алу үшін маңызды құралға айналды. Twitter сияқты әлеуметтік желілер нақты уақытта қауіптерді анықтау үшін талдауға болатын бай деректерді ұсынады.

Қауіпті анықтау үшін әлеуметтік желіні пайдаланудың белгілі бір қиындықтары бар, мысалы, деректердің үлкен көлемі, қатысы жоқ немесе қатысы жоқ хабарларға байланысты деректердегі шу және әлеуметтік желідегі білдіру формаларының әртүрлілігімен байланысты қиындықтар. Бұл факторлар қауіптерді дәл анықтауды қиындатуы мүмкін, бұл күрделірек деректерді өңдеу және талдау алгоритмдерін қажет етеді.

Әлеуметтік желі аналитикасы арқылы киберқауіптерді анықтау нақты уақытта қауіптерді бақылау және оларға жауап беру үшін құнды құралды ұсынады. Машиналық оқыту әдістерін дамыту және деректерді өңдеу алгоритмдерін жетілдіру киберқауіпсіздікті нығайту үшін жаңа мүмкіндіктер ашады. Алдағы уақытта қауіптерді анықтаудың дәлдігі мен жылдамдығын арттыру, сондай-ақ басқа киберқауіпсіздік жүйелерімен интеграция кибершабуылдардан қорғауда маңызды рөл атқарады.

Киберқауіптерді анықтау үшін әлеуметтік желіні тиімді пайдалану үздіксіз дамып келе жатқан киберқауіпсіздік қатерлерімен күресу үшін жаңа технологиялар мен әдістерді зерттеуді және әзірлеуді талап етеді.

Әлеуметтік желіні пайдалану арқылы киберқауіптерді анықтау, әсіресе, жеке өмірге және деректер жинауға қатысты бірқатар этикалық мәселелерді тудырады. Деректерді жинау және талдау процестерінің ашық болуын және деректерді қорғау заңнамасына сәйкестігін қамтамасыз ету қажет.

Түрлі зерттеулер әлеуметтік желі деректерінің фишинг, зиянды бағдарлама және әлеуметтік инженерия сияқты нақты киберқауіптерді анықтау үшін қалай пайдаланылғанын көрсетеді. Осындай зерттеулер мен тәжірибелік жағдайлардың мысалдары осы тәсілдің тиімділігінің қосымша дәлелі бола алады.

**Әлеуметтік желілердегі спам.** Спам – барлық уақыттағы ең классикалық шабуылдардың бірі. Шабуылшылар жалған аккаунттар жасайды және біреу оларды қабылдайды деген үмітпен автоматты түрде мыңдаған достық сұрауларын жібереді. Қабылданғаннан кейін, шабуылдаушы спам хабарламаларды жіберуді бастай алады. Тіпті досыңызбен байланысу сұрауы пайдаланушылар арасында бұрынғы байланыссыз оның ішінде қысқа хабарламалар жіберуге мүмкіндік береді. Спаммен күресу үшін көптеген қауымдастықтар CAPTCHA сынақтарын жүзеге асырады, олар тым көп хабар жіберілген кезде шешім қабылдайды. Бұл хабарламаларды автоматты түрде таратуды тоқтатуы немесе кем дегенде баяулатуы керек. Бұған қоса, шабуылдаушылар жиі бірнеше тіркелгілерді олардың әрқайсысы күнделікті шектеумен бұғатталғанша қатар пайдалану мүмкіндігіне ие. Көптеген әлеуметтік желілер хабарларды спам деп белгілеу және оларды болашақта бұғаттау мүмкіндігін ұсынады, бұл шабуылдаушылар жазбаларды жиі ауыстырмайтын болса, көмектеседі [4].

**Әлеуметтік желілерде тұзақтарды орналастыру.** Тұжырымдама қарапайым: тіркелгілер арналарының жоғарғы жағына спам хабарламаларын алу үшін кілт сөздер мен сілтемелерді пайдаланыңыз. Кейбір шабуылдаушылар тіпті зиянсыз болып көрінетін твиттерді жібермес бұрын манипуляциялай бастады. Олар танымал кілт сөздері бар жаңа жазбаларды іздейді. Бұл, мысалы, сәйкес жаңалықтар мақаласына қысқартылған сілтемесі бар соңғы футбол матчындағы даулы сәт туралы твит болуы мүмкін. Содан кейін алаяқ хабарламаны алады, бастапқы қысқа сілтемені зиянды сайтқа өзінің сілтемесімен ауыстырады және хабарламаны қайта жариялайды. Бұл қарапайым қолданушыларға зиянды және зиянды твиттерді ажырата алмайды. Осылайша, ақпаратты іздейтін бейхабар пайдаланушының зиянды сілтемеге тап болуы ықтималдығы өте жоғары. Әрине, біз сондай-ақ біреулер басады

деген үмітпен спам арқылы таратылатын жалаңаш атақты адамдардың бейнелеріне немесе қарақшылық бағдарламаларға сілтемелері бар әдеттегі арандатушылық хабарламаларды көреміз [5].

**Достар.** Әлеуметтік желілердегі «достармен» сенімді қарым-қатынас әдетте бейтаныс адамдарға қарағанда күштірек. Бір жағынан, бұл оңды, өйткені ол бизнес, бренд немесе жеке тұлғаның айналасында адал аудитория жасайды. Бірақ екінші жағынан, бұл да алаяқтарға есік ашады.

**Достарды тұлғаландыру.** Әлеуметтік желілердегі жалған дос профильдерінің мәселесі. Мұндай желілерде пайдаланушылардың сенімін оятатын достардың атынан хабарламалар жіберілетін жағдай жиі кездеседі. Бұл туа біткен сенім мен табиғи қызығушылық пайдаланушылардың зиянды сілтемелерді басу ықтималдығын арттырады, бұл құпия сөзді ұрлау тактикасын әсіресе тиімді етеді. Бұл жаңарту хабарлары көбінесе тіркелгі құпия сөздерін ұрлау үшін басқа жалған сайттарға апаратын сілтемелерді қамтиды.

**Адамды алмастыру немесе маскарад жасау мүмкіндігі.** Достардың атын жамылған әрекеттердің артында кім тұрғаны немесе әлеуметтік желі профилінде достарының суреттерін кім пайдаланып жатқаны жиі белгісіз. Жіберуші туралы ақпаратты оның IP мекенжайы бойынша жинауға болатын электрондық поштадан айырмашылығы, бұл әлеуметтік желілерде жұмыс істемейді. Мұндай маскарадтар жеке деңгейде де, корпоративтік деңгейде де болуы мүмкін. Мұндай алдау фишингке, теріс пиар-науқандарға немесе «анти-PRға» әкелуі мүмкін. Компаниялар атынан веб-сайттарды жасау түпнұсқа брендтер үшін шатасулар мен проблемаларды тудырған жағдайлар болды.

**Құпия сөзді ұрлау және фишинг.** Құпия сөздерді пайдаланатын әлеуметтік желілерге кіру таңбалардың белгілі бір комбинациясын білуді талап етеді. Мұндай рұқсат алғаннан кейін жарнама жіберуге, басқа біреудің атынан ақпаратты жіберуге немесе басқаларды қажетсіз әрекеттерге, соның ішінде зиянды сілтемелерді таратуға, зиянды бағдарламаны белсендіруге немесе басқа, кейде заңсыз әрекеттерге көндіруге болады. Кейбір ұйымдар өнімдерді жылжыту үшін әлеуметтік желіні пайдаланады және әкімші құпия сөздерін жоғалту топты бақылауды жоғалтуға әкелуі мүмкін. Құпия ақпаратты алу үшін фишинг әдістері, жалған веб-сайттар жасау, әлеуметтік инженерия және басқа әдістер жиі қолданылады. Мұндай қауіптерден қорғау деректердің жоғалуын болдырмау (DLP) жүйелерін және антивирустық бағдарламаларға біріктірілген репутация технологияларын қамтиды.

**URL қысқарту қызметтерін пайдалану.** URL қысқарту қызметтері соңғы уақытта танымал бола бастады, себебі олар қысқа сілтеме астында нақты веб-сайт мекенжайын жасыруға мүмкіндік береді, бұл пайдаланушыны басқа доменге тиімді бағыттайды. Бұл тәуекелдермен белсенді түрде күресуде, URL қысқарту қызметтері спам және басқа қауіптерді анықтаудың озық әдістерін енгізеді. Дегенмен, әлеуметтік желілерді пайдаланушылар үшін қауіп әлі де бар: бұзылған белгілі контактілерден келетін тартымды хабарлар мен ұсыныстар жиі зиянды бағдарламаны жүктеп алуға немесе қажетсіз веб-беттерге әкеледі.

**Веб-шабуыл.** Хакерлер әлеуметтік желілерді веб-шолғыштардағы осалдықтарды пайдалану, сондай-ақ XSS/CSRF шабуылдарын жасау арқылы шабуылдар жасау үшін пайдалана алады. Осы мақсатта достар тізімі арқылы таралатын трояндық аттар, жалған антивирустар, әлеуметтік құрттар, зиянды JavaScript және HTML сценарийлері қолданылады және т.б. Бұл шабуылдардың негізгі мақсаты – әлеуметтік желі қолданушысының ақпараттық жүйесіне, жұмыс станциясына немесе құрылғысына ену және кейіннен оларды жұқтыру. Қорғауды қамтамасыз ету үшін әдетте нақты уақыт режимінде жұмыс істейтін және зиянды кодты жүктеуді блоктайтын антивирустық бағдарламалар қолданылады.

**Ақпараттың шығуы және қызметкерлердің беделін түсіретін әрекеттер.** Әлеуметтік желілер ұйымның құпия ақпаратын тарату және оның беделіне нұқсан келтіру құралы ретінде қызмет етуі мүмкін. Бұл әрекеттер басшылыққа қанағаттанбаған қызметкерлерден де, арнайы енгізілген инсайдерлерден де болуы мүмкін. Адамдар көбінесе әлеуметтік желіде кәсіби ортадағыдан басқаша әрекет етеді және арандатушылық немесе дөрекі сөздер компанияның беделіне нұқсан келтіруі мүмкін. Мұндай қауіптердің алдын алу үшін деректердің жоғалуын болдырмау (DLP) жүйелері және онлайн жарияланымдарды талдау құралдары қолданылады.

**Advanced Persistent Threat (APT) шабуылы және әлеуметтік желілердегі қауіптер.** Әлеуметтік желілер күрделі хакерлерге күрделі зиянды бағдарламаларды және әртүрлі бұзу әдістерін пайдалану мүмкіндігін бере отырып, ұйымдар мен олардың бөлімшелері үшін кіру

нүктелері немесе қауіп көздері ретінде әрекет ете алады. Бұл желілер жиі шабуылдаушылар үшін маңызды ақпарат көздеріне айналады. Lockheed Martin Cyber Kill Chain, Mandiant APT Attack Life Model және ISSP ThreatSCALE моделі сияқты танымал шабуыл әдістемелері компания мен оның қызметкерлері, олардың лауазымдары, контактілері мен мекенжайлары туралы деректерді жинау үшін бастапқы кезеңдерінде әлеуметтік желілерді пайдаланады. Бұл желілер «Барлау» кезеңіндегі негізгі құралдар болып табылады. Әлеуметтік желіні одан әрі пайдалану ThreatSCALE-ге «басып кіру», Cyber Kill Chain-ге «жеткізу» және Mandiant APT Model-ге «ену» кезеңдерін қамтиды, мұнда оларды зиянды мазмұнды жеткізу үшін пайдалануға болады, мысалы, зиянды сілтемелер немесе малициозды кодты құжаттар жіберу. Әлеуметтік желілердегі негізгі қауіптерге нәсілдік, ұлттық немесе діни араздықты қоздыратын материалдарды тарату, тоталитарлық секталарды насихаттау, терроризмді ақтау, кибер қорлау және қорқыту, сондай-ақ есірткіні танымал ету және тарату жатады.

Ұлттық қауіпсіздік органдарынан, мемлекеттік органдардан, экономиканың екі секторындағы кәсіпорындардан және жеке тұлғалардан сипатталған қауіптерден қорғау үшін келесі міндеттер орындалады:

- ақпараттық шабуылдарды анықтау: шабуыл көздерін және анықтау нүктелерінің стратегиялық орналасуын анықтау;
- ақпараттық шабуылдардың алдын алу: объектіге шабуыл жасау мен қорғаудың ықтимал шығындарын бағалау;
- әртүрлі әлеуметтік ақпараттық желілерді құру және жою;
- Шабуыл жасаушылардың, соның ішінде лаңкестердің желілерін және олардың зиянды әрекеттерін анықтау және қадағалау.

Виртуалды қауымдастықтардың ақпараттық-психологиялық ықпалымен күресудің келесі әдістерін анықтауға болады [6]:

- күшті шараларды қолдану: серверлерді жабу, интернет-трафикті бақылау;
- құқықтық және реттеу шаралары: виртуалды қауымдастықтың ұйымдастырушылары мен белсенді қатысушыларын қылмыстық жауапкершілікке тарту;
- интернетті шектеу және мазмұнды бақылау;
- әлеуметтік желілердегі белсенділікті қадағалау және талдау.

Осы тәсілдердің әрқайсысының оң және теріс жақтарын бағалап көрейік. Алғашқы екі тәсіл қысқа мерзімде пайдалы болып шықты, бірақ бірқатар шектеулерге тап болады: олар географиялық шекараларды жылдам кесіп өтетін және кез келген елдің заңдарының юрисдикциясына жатпайтын ақпаратты таратуды, жинауды, өңдеуді және пайдалануды бақылай алмайды; олар пайдаланушының анонимділігі мәселесіне тап болады; және электронды ақпаратты өзгерту оңай. Оның үстіне, сөз бостандығы басым демократиялық елдерде цензура жиі тиімсіз.

### **Әлеуметтік желіні талдау тапсырмалары**

Әлеуметтік желіні талдау арқылы киберқауіптерді анықтау тақырыбын жалғастыра отырып, алдыңғы қатарлы аналитикалық әдістерді қолдануды атап өткен жөн. Бұл тәсілдің мысалы ретінде әлеуметтік желілердегі мәтіндік деректерден семантикалық қатынастарды алу үшін семантикалық талдауды және табиғи тілді өңдеуді қолдану болып табылады. Бұл әдістер ықтимал қауіптерді анықтауға ғана емес, сонымен қатар ықтимал кибершабуылдарды көрсетуі мүмкін пайдаланушының көңіл-күйін талдауға мүмкіндік береді.

Әлеуметтік желі аналитикасының тиімділігі қауіп-қатердің жан-жақты бейнесін жасау үшін әртүрлі платформалардағы деректер біріктірілген кросс-платформалық ынтымақтастық арқылы жақсартады. Бұл қауіпсіздік жүйелеріне жаңа және дамып келе жатқан қауіптерге тезірек жауап беруге мүмкіндік береді, сонымен қатар жаһандық ауқымда қорғауды жақсарту үшін пайдалануға болатын жалпыға қолжетімді киберқауіптердің дерекқорларын жасауға көмектеседі.

**Желілік қауымдастықтарды анықтау және талдау.** Желідегі қауымдастықтар олардың мүшелері арасында көптеген қарым-қатынастардың болуымен және басқа желі қатысушыларымен айтарлықтай аз байланыстармен анықталады. Қарапайым қауымдастықтың мысалы ретінде барлық мүшелер бір-бірімен байланысқан және желінің сыртқы мүшелері қауымдастық мүшелерімен әрекеттеспейтін клика болып табылады. Айқын және жасырын қауымдастықтарды анықтау желіні талдаудың негізгі міндеті болып табылады.

Бұған қауымдастық мүшелерін жіктеу және біртекті топтарды, көшбасшыларды немесе сарапшыларды анықтау кіреді [7]. Қауымдастықты анықтау көбінесе кластерлеуді білдіреді, бұл әртүрлі әлеуметтік желілер контекстіндегі дәстүрлі Data Mining тапсырмасы. Қауымдастықтарды талдау арқылы мақсатты топтарды анықтау әдістері ақпараттық әсер мен басқаруды зерттеудің математикалық үлгілерін жасауға мүмкіндік береді [8].

**Желілік құрылымдардағы мамандарды анықтау.** Әлеуметтік желілер белгілі бір саладағы сарапшыларды іздеу құралы бола алады. Сарапшыларды анықтау процесі сенім деңгейін анықтау және ықпалды бөлу, сондай-ақ желідегі ақпаратты таратумен байланысты тапсырмаларды қамтиды. Сараптамалық ықпалдың таралуы тұрғысынан ол транзитивтік: әсер бір түйіннен екіншісіне ауысады, процеске тартылған сарапшылардың әрбір жаңа түйінімен әлсірейді [9].

**Ұақыт бойынша әлеуметтік желілердегі өзгерістер динамикасы.** Ұақыт өте келе әлеуметтік желілерде әртүрлі өзгерістер орын алады: жаңа қатысушылар пайда болады, кейбіреулері әрекетін тоқтатады, жаңа байланыстар қалыптасады, қатысушылардың өзара әрекеттесуінің болмауына байланысты ескілері өзектілігін жоғалтады. Бұл өзгерістер әлеуметтік желілердің жалпы құрылымына және әсіресе жеке қауымдастықтарға әсер етеді. Негізгі сұрақтар жетекші әлеуметтік желі қауымдастықтарындағы ұзақ мерзімді өзгерістер, қауымдастықтар ұақыт өте келе қалай дамиды және болашақ өзгерістерді қалай анықтау және қадағалау туралы туындайды. Желілік графиктердің эволюциясын модельдеу және желілерді құрудың әртүрлі стратегияларын зерттеу маңызды рөл атқарады [10].

**Әлеуметтік желілерде жаңа байланыстардың пайда болуын болжау.** Болашақта пайдаланушылар немесе топтар арасындағы ықтимал байланыстарды анықтауға және болжауға бағытталған зерттеулер әлеуметтік желіні талдау үшін өте маңызды. Желі қосылымдары ұақыт өте өзгереді. Желі құрылымы мен мүше сипаттамалары туралы ақпаратты пайдалану жаңа қосылымдарды болжауға көмектеседі. Болжаудың міндеті - белгілі бір ұақыт кезеңінен кейін екі қатысушы арасында байланысты орнату ықтималдығын анықтау. Бұл әлеуметтік желінің эволюциясын зерттеуге байланысты және сілтемелерді болжау мәселесі ретінде белгілі есептеу мәселесі. Бұл мәселені шешу үшін ортақ достардың саны, қатысушылар арасындағы ең қысқа жол, жеке түйіндердің әсері және желіде алғаш пайда болу ұақыты сияқты сипаттарды ескере отырып, әлеуметтік желінің эволюциясын автоматтандырылған модельдеу қолданылады. Бұл мәселені шешу әртүрлі құрылымдық және қатынастық модельдерді құруды қамтиды. Болжаудың дәлдігін жақсарту үшін пайдаланушылардың жеке деректерін біріктіретін машиналық оқытуға негізделген қарым-қатынасты болжау үлгілері қолданылады [11].

Жасанды интеллект әлеуметтік желілер арқылы киберқауіптерді анықтау процестерін автоматтандыруда маңызды рөл атқарады. AI алгоритмдері кибершабуылдарды немесе алаяқтықты көрсете алатын әдеттен тыс мінез-құлық немесе коммуникация үлгілерін анықтай отырып, деректердің үлкен көлемін жылдам талдай алады. Алгоритмдерді үнемі үйрену және жаңа қауіптерге бейімдеу олардың тиімділігі мен дәлдігін арттырады.

Техникалық шешімдерден басқа, пайдаланушыларды оқыту киберқауіптерді анықтау және алдын алуда маңызды рөл атқарады. Киберқауіптердің түрлері және олардың әлеуметтік желілерде ұсынылуы туралы хабардар болуды арттыру шабуылдарды ертерек анықтауға және алдын алуға әкеледі. Кибергигиенаны жақсарту үшін жұртшылықпен және ұйымдармен жұмыс істеу кибершабуылдардан болатын қауіптерді айтарлықтай азайтуға және ықтимал зиянды азайтуға болады.

Қорытындылай келе, біздің шолуымыз әлеуметтік желілерді талдауды пайдалану киберқауіптерді анықтау және оларға қарсы тұрудың перспективалы тәсілі болып табылатынын көрсетеді. Әлеуметтік желі аналитикасы пайдаланушының мінез-құлық үлгілерін анықтап, талдап қана қоймай, сонымен қатар фишинг, зиянды бағдарламаларды тарату немесе келісілген шабуылдар сияқты кибершабуылдарды көрсете алатын ауытқуларды анықтай алады.

Әлеуметтік желіні талдау әдістері, мысалы, тіркелгілер арасындағы байланыс үлгілерін зерттеу, жазбалар мазмұнын және пайдаланушылар арасындағы өзара әрекеттестіктерді талдау күдікті әрекеттерді анықтауда тиімді екенін көрсетті. Бұл киберқауіптердің таралуына қатысы болуы мүмкін жасырын топтарды анықтауды, сондай-ақ қауіптер таралатын желілік құрылымдардағы негізгі түйіндерді анықтауды қамтиды.

Дегенмен, әлеуметтік желілерден ақпаратты жинау және талдау кезінде деректердің құпиялылығын қамтамасыз ету, сондай-ақ дәлдікті арттыру және жалған позитивтерді азайту үшін алгоритмдерді жетілдіру қажеттілігі сияқты белгілі бір қиындықтар да бар.

Болашақ нәтижелерді жақсарту үшін әлеуметтік желіні талдауды киберқауіпсіздіктің басқа әдістерімен біріктіру, білім мен тәжірибе алмасу үшін халықаралық ынтымақтастықты дамыту және киберқауіптерді анықтау процестерін автоматтандыру және оңтайландыру үшін жаңа технологиялық шешімдерді жасау маңызды.

Бұл саладағы зерттеулер үнемі өзгеріп отыратын қауіп үлгілері мен технологияларына сай болу үшін әлеуметтік желіні талдау әдістерін бейімдеуді және жетілдіруді жалғастыруы керек. Бұл киберқауіптерге тиімді қарсы тұрудың және өзара байланысы артып келе жатқан әлемде цифрлық кеңістікті қорғаудың жалғыз жолы.

### Әдебиеттер тізімі

1. Carley K. Destabilizing networks. / K. Carley, J. Lee, D. Krackhardt // *Connections*. – 2002. – Vol. 24, №3. – P.79-92.
2. Додонов О.Г. Інформаційні потоки в глобальних комп'ютерних мережах / О.Г. Додонов, Д.В. Ланде, В.Г. Путятін. – Київ: Наукова думка, 2009. – 295 с.
3. Stohl C. Networks of Terror: Theoretical Assumptions and Pragmatic Consequences / C. Stohl, M. Stohl // *Communication Theory*. – 2007. – Vol. 17. – P. 93-124.
4. Russell M.A. Mining the Social Web: Analyzing Data from Facebook, Twitter, LinkedIn, and Other Social Media Sites / M.A. Russell. – O'Reilly, 2011. – 332 p.
5. Easley D. Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World, Cambridge University Press / D. Easley, J. Kleinberg. – 2010. – 819 p.
6. Гриненко І. Вплив віртуальних спільнот на інформаційну безпеку: сучасний стан та тенденції розвитку. / І. Гриненко, Д. Прокоф'єва-Янчиленко // *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні*. – 2012. – № 1(23). – С. 18-23.
7. Coscia M. A classification for community discovery methods in complex networks. / M. Coscia, F. Giannotti, D. Pedreschi // *Statistical Analysis and Data Mining*. – 2011. – P. 512-546.
8. Губанов Д. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства / Д. Губанов, Д. Новиков, А. Чартишвили. – Москва, 2010. – 225 с.
9. Бузун Н. Выявление пересекающихся сообществ в социальных сетях / Н. Бузун, А. Коршунов. – М.: Институт системного программирования РАН, 2012. – 18 с.
10. Үкустов С.С. Подход к решению задачи идентификации влиятельных разработчиков в социальной сети гитхаб / С.С. Үкустов, А.Г. Кравец // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. – 2012. – № 15(102). – С. 61-66.
11. Liben-Nowell D. The Link Prediction Problem for Social Networks / D. Liben-Nowell, J. Kleinberg // *Proceedings of the 12th International Conference on Information and Knowledge Management*, N. Y.: ACM Press, 2003. – P. 556-559.

### References

1. Carley K. Destabilizing networks. / K. Carley, J. Lee, D. Krackhardt // *Connections*. – 2002. – Vol. 24, № 3. – R. 79-92. (In English).
2. Dodonov O.G. Infopmatsiini potoki v global'nix komp'yutepnix mepezhax / O.G. Dodonov, D.V. Lande, V.G. Pytyatin. – Kiiv: Naykova dymka, 2009. – 295 c. (In Russian).
3. Stohl C. Networks of Terror: Theoretical Assumptions and Pragmatic Consequences / C. Stohl, M. Stohl // *Communication Theory*. – 2007. – Vol. 17. – R. 93-124. (In English).
4. Russell M.A. Mining the Social Web: Analyzing Data from Facebook, Twitter, LinkedIn, and Other Social Media Sites / M.A. Russell. – O'Reilly, 2011. – 332 p. (In English).
5. Easley D. Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World, Cambridge University Press / D. Easley, J. Kleinberg. – 2010. – 819 p. (In English).
6. Gpinenko I. Vpliv viptyal'nix spil'not na infopmatsiiny bezpeky: cyhachnii stan ta tendentsii pozvitky. / I. Gpinenko, D. Ppokof'eva-Yanchilenko // *Ppavove, nopmative ta metpologichne zabezpechennya cistem zaxicty infopmatsii v Ykpaïni*. – 2012. – № 1(23). – С. 18-23. (In Ukrainian).
7. Coscia M. A classification for community discovery methods in complex networks. / M. Coscia, F. Giannotti, D. Pedreschi // *Statistical Analysis and Data Mining*. – 2011. – R. 512-546. (In English).



8. Gybanov D. Cotsial'nye ceti: modeli infopmatsionnogo vliyatiya, yppavleniya i pprotivobopctva / D. Gybanov, D. Novikov, A. CHaptishvili. – Mockva, 2010. – 225 c. (In Russian).
9. Byzyn N. Vvyavlenie pepecekayushchixcy coobshchectv v cotsial'nyx cetyax / N. Byzyn, A. Kopshynov. – M.: Incityt cicemnogo ppopgammipovaniya PAN, 2012. – 18 c. (In Russian).
10. Ykyctov C.C. Podxod k pesheniyu zadachi identifikatsii vliyatel'nyx pazpabotchikov v cotsial'noi ceti gitxab / C.C. Ykyctov, A.G. Kpavets // Izvectiya Volgogpadckogo gocydapctvennogo texnicheckogo univepciteta. – 2012. – № 15(102). – S. 61-66. (In Russian).
11. Liben-Nowell D. The Link Prediction Problem for Social Networks / D. Liben-Nowell, J. Kleinberg // Proceedings of the 12th International Conference on Information and Knowledge Management, N. Y.: ACM Press, 2003. – R. 556-559. (In English).

**A. Bimyrzakyy\*, Zh. Alimzhanova**  
Al-Farabi Kazakh National University,  
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi Avenue, 71  
\*e-mail: akerkebeimirzakizi@gmail.com.

### IDENTIFYING CYBERTHREATS THROUGH SOCIAL MEDIA RESEARCH

*The work provides an overview of the main methods of social network analysis used to identify cyber threats. The main types of threats in social networks are indicated and some protection methods for their prevention are described. Typical tasks of social network analysis aimed at detecting cyber threats are, for example, identifying online communities, identifying leaders and experts in communities, analyzing the stability of communities, clustering textual information, etc. With increasing digitization and active use of social networks as a means of communication, the importance of effective monitoring and data analysis to ensure cyber security is becoming more and more relevant. Complexities and challenges associated with processing large amounts of data in social networks are also analyzed, including privacy issues and ethical aspects of user data control. The study provides a holistic view of the use of social media as a tool to proactively identify and prevent cyberthreats, highlighting the importance of integrating analytical systems into the overall cybersecurity framework of organizations and individuals. The study provides a holistic view of the use of social media as a tool for proactive detection and prevention of cyber threats, highlighting the importance of integrating analytical systems into the overall cybersecurity posture of organizations and individuals, while emphasizing the need to improve machine learning and artificial intelligence techniques for deeper and more accurate analysis of user behavior and community dynamics, which can contribute to more effective prevention and neutralization of threats in the digital environment.*

**Key words:** social network analysis, phishing, cyber threats, leader detection techniques, information leakage, Advanced Persistent Threat (APT) attacks.

**A. Бимырзакызы\*, Ж.А. Муратбековна**  
Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби,  
050040, Республика Казахстан, Алматы, проспект аль-Фараби, 71  
\*e-mail: akerkebeimirzakizi@gmail.com

### ВЫЯВЛЕНИЕ КИБЕРУГРОЗ ПОСРЕДСТВОМ ИССЛЕДОВАНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

*В работе представлен обзор основных методов анализа социальных сетей, используемых для выявления киберугроз. Обозначены основные виды угроз в социальных сетях и описаны некоторые методы защиты от их предотвращения. Типичными задачами анализа социальных сетей, направленными на обнаружение киберугроз, являются, например, идентификация онлайн-сообществ, выявление лидеров и экспертов в сообществах, анализ стабильности сообществ, кластеризация текстовой информации и т.д. С ростом цифровизации и активным использованием социальных сетей в качестве средства коммуникации важность эффективного мониторинга и анализа данных для обеспечения кибербезопасности становится все более актуальной. Также анализируются сложности и проблемы, связанные с обработкой больших объемов данных в социальных сетях, включая вопросы конфиденциальности и этические аспекты контроля пользовательских данных. Исследование дает целостное представление об использовании социальных сетей в качестве инструмента для превентивного выявления и предотвращения киберугроз, подчеркивая важность интеграции аналитических систем в общую систему кибербезопасности организаций и отдельных лиц. Исследование дает целостное представление об использовании социальных сетей в качестве инструмента для превентивного выявления и предотвращения киберугроз, подчеркивая важность отдельных лиц, при этом акцентируется внимание на необходимости улучшения методов машинного обучения и искусственного интеллекта для более глубокого и точного анализа поведения пользователей и динамики*

сообществ, что может способствовать более эффективному предотвращению и нейтрализации угроз в цифровой среде.

**Ключевые слова:** анализ социальных сетей, фишинг, киберугрозы, методы обнаружения лидеров, утечка информации, атаки Advanced Persistent Threat (APT).

#### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Акерке Бимырзақызы\*** – «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының магистранты; Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті; e-mail: akerkebeimirzakizi@gmail.com.

**Жанна Муратбековна Алимжанова** – физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор; Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті; e-mail: zhannamen@mail.ru.

#### **Сведения об авторах**

**Акерке Бимырзақызы\*** – магистрант кафедры «Информационные системы»; Казахский национальный университет имени аль-Фараби; e-mail: akerkebeimirzakizi@gmail.com.

**Жанна Муратбековна Алимжанова** – кандидат физико-математических наук, профессор; Казахский национальный университет имени аль-Фараби; e-mail: zhannamen@mail.ru.

#### **Information about the authors**

**Akerke Bimirzakzy\*** – Master's student of the department of Information systems; Al-Farabi Kazakh National University; e-mail: akerkebeimirzakizi@gmail.com.

**Zhanna Muratbekovna Alimzhanova** – candidate of physics and mathematics, professor; Al-Farabi Kazakh National University; e-mail: zhannamen@mail.ru.

*Редакцияға енуі 24.04.2024*

*Өңдеуден кейін түсуі 02.09.2024*

*Жариялауға қабылданды 13.09.2024*

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-8](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-8)



IRSTI: 55.22.19



**Zh. Bakyt<sup>1,2\*</sup>, A. Shynarbek<sup>1,2</sup>, R. Kussainov<sup>1,2</sup>, O. Stepanova<sup>1,2</sup>, A. Zhassulan<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A

<sup>2</sup>Engineering Center,  
Republic of Kazakhstan, Semey, Fizkulturnaya str., 4b

\*e-mail: bakytzhanel@gmail.com

## USE OF ELECTRIC ARC METALLIZATION TO PROTECT METAL SURFACES FROM CORROSION: A STUDY ON THE EXAMPLE OF STEEL 45 AND 30HGSA WIRE

**Abstract:** *The effect of protective coating applied to steel 45 made of 30HGSA wire by electric arc metallization on corrosion resistance compared to untreated steel 45 was investigated. The test methodology included electrochemical analyses such as polarization curves. The results showed that steel 45 coated with 30HGSA wire shows significantly higher corrosion resistance compared to standard steel 45.*

*The result of this study confirms the significance of electric arc metallization technology as an effective way to improve the corrosion resistance of steels. The application of protective coating of 30HGSA wire on steel 45 not only improves its characteristics, but also provides opportunities for more durable use in aggressive environments. Also, these methods can be adapted for other types of materials, which opens new perspectives in the field of steel structures protection. This research can serve as a basis for the development of new norms and standards in metal fabrication and processing. These results provide valuable scientific data that can contribute to the development of improved corrosion resistant materials for applications in critical industries such as oil and gas, marine and construction projects, and mechanical engineering, where material reliability is a key factor.*

**Key words:** *corrosion resistance, steel 45, electric arc metallization, coating, steel surfacing wire.*

### Introduction

Corrosion of steels used in mechanical engineering is a significant issue that affects the durability, safety, and performance of machines and structural components. Steel, an alloy primarily composed of iron and carbon, is widely employed in mechanical engineering due to its strength, ductility, and cost-effectiveness. However, its susceptibility to corrosion, particularly in harsh environments or when protective measures are inadequate, remains a major drawback [1-2].

The study of steel corrosion in mechanical engineering and industrial applications is not only essential for extending the service life of materials but also for reducing costs, enhancing safety, protecting the environment, and ensuring compliance with regulatory standards [3-6]. To improve the performance of 45 steel, a coating using 30KhGSA wire, which contains chromium and silicon, was applied. This composition provides the coating with enhanced corrosion resistance. Chromium imparts increased corrosion resistance, while silicon contributes to the formation of dense and durable protective layers [7-8]. The use of 30KhGSA wire as a coating material significantly improves the corrosion resistance of 45 steel.

To evaluate the effectiveness of these coatings, electrochemical methods-such as polarization curve measurements-offer valuable insights into the behavior of protective layers in aggressive environments [9-10]. These methods allow for the analysis of current protection strategies and enable predictions of metal behavior over the long term.

The purpose of this study is to assess the impact of a protective coating, applied via electric arc metallization using 30KhGSA wire, on the electrochemical corrosion resistance of 45 steel. The study aims to compare the corrosion resistance of treated and untreated steel to determine the effectiveness of this coating in improving the corrosion properties of structural materials. The results will inform recommendations for utilizing advanced protection technologies in industries where corrosion poses a critical challenge.

## Materials and Methods of Research

Corrosion tests were conducted using the potentiodynamic method with a single-channel potentiostat-galvanostat (model CS300M) in a 3% NaCl solution at a temperature of  $\pm 25^{\circ}\text{C}$ . To define the test area, materials such as adhesive tape were used, while a protective varnish coating was applied to isolate the non-tested regions of the sample. It is crucial that the surface areas of the samples under analysis be identical during potentiodynamic testing, to ensure that the results obtained under the same conditions are comparable.

In one glass cell, the reference electrode (R) with a known constant potential was a silver chloride electrode filled with NaCl solution. The second cell contained the auxiliary electrode (C), which was a platinum electrode, and the working electrode (W), consisting of the test samples of 45 steel with and without a coating. The surface area of the working electrode was maintained at  $1\text{ cm}^2$ . The cells were connected by a salt bridge containing sodium chloride, with both sides covered by filter paper to prevent the mixing of solutions between the cells. This setup ensured the accuracy of the potential measurements, as mixing could distort the results. Before installation into the test circuit, the samples were cleaned and degreased using ethyl alcohol.

The working electrode (steel samples) served as the object of study, which acted as an anode during the corrosion process. When the working electrode lost electrons (oxidized), it functioned as an anode. The auxiliary electrode (platinum) acted as the cathode, supplying current for the reactions occurring at the working electrode.

The CS Studio6 software was used to determine the values of potential, current density, corrosion rate, and Tafel slopes ( $b_a$ ,  $b_c$ ). The graphs were plotted in logarithmic form, with the current density scale presented logarithmically. In addition, the software allowed for visual monitoring of the curve construction on the computer.

## Results and discussion

During the experiment, a graph of polarization curves was obtained (Figure 1).

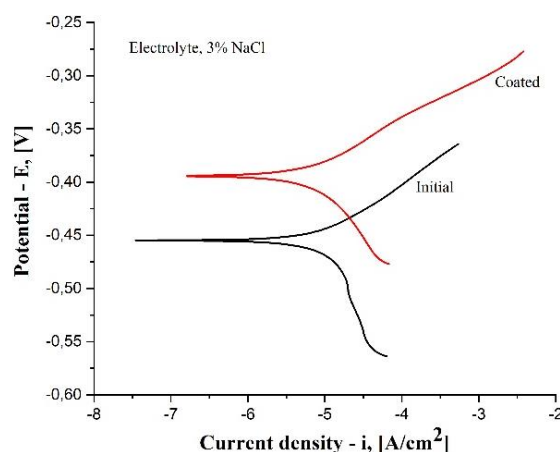


Figure 1 – Polarization curves of samples in 3% NaCl solution

Polarization curves are constructed by applying a variable electric potential to the sample and measuring the corresponding current density response. These curves visually represent how the corrosion behavior of the material changes under different electrochemical conditions. A key parameter in electrochemical studies is the corrosion potential ( $E_{\text{corr}}$ ), which reflects the metal's tendency to corrode in a specific environment. A lower  $E_{\text{corr}}$  value indicates increased corrosion activity, suggesting accelerated material degradation.

The corrosion current density ( $I_{\text{corr}}$ ), measured during polarization tests, is directly related to the rate of corrosion processes. Higher values of  $I_{\text{corr}}$  indicate more intense material degradation and, consequently, a lower effectiveness of protective coatings or reduced corrosion resistance of the material. Tafel slopes, obtained from the linear portions of the polarization curves, characterize the kinetics of anodic and cathodic reactions on the metal surface, providing insight into how changes in potential influence the rates of these reactions.

The polarization parameters of the samples after the experiment are summarized in Table 1.

Table 1 – Polarization parameters of samples

Samples	$-E_{\text{corr}}$ (mB)	$I_{\text{corr}}$ (A/cm <sup>2</sup> )	$r_{\text{corr}}$ (mm/a)	Tafel tilts (mV)	
				ba	bc
Initial	454,87	1,6481E-05	0,19334	61,785	277,99
With coating	394,2	6,5093E-06	0,076362	42,783	82,834

During the electrochemical tests, it was found that both samples exhibited negative corrosion potentials, a characteristic feature of oxidative (anodic) processes in electrochemical corrosion. A negative potential indicates that the metal tends to lose electrons, contributing to its dissolution as an anode. Observations revealed that the corrosion current density of the coated sample was significantly lower than that of the uncoated 45 steel sample, indicating a reduced corrosion rate. This confirms that the 30KhGSA wire coating effectively decreases the corrosion rate compared to standard 45 steel.

Additionally, the Tafel slopes for the coated sample were shallower in both the anodic and cathodic regions, suggesting a reduced dependence of the corrosion reaction rate on potential changes. This may indicate a more stable electrochemical system, further emphasizing the effectiveness of the protective coating. Flatter Tafel slopes suggest that the system is less sensitive to fluctuations in reaction dynamics in response to external electrical stimuli. This highlights that the coating not only provides protection against corrosion but also stabilizes the material's behavior under varying operational conditions. These results support the potential for using specialized coatings to enhance the corrosion resistance of structural materials, particularly in aggressive environments.

### Conclusion

Based on the obtained results, it can be concluded that the application of protective coatings made from 30KhGSA wire is an effective method to significantly enhance the service life of 45 steel in corrosive environments. This finding offers valuable insights for industries, particularly those where high corrosion resistance of materials is critical.

### References

- Hansson C.M. An introduction to corrosion of engineering materials. / C.M. Hansson // In Corrosion of steel in concrete structures. Woodhead Publishing. – 2023. – P. 1-16. (In English).
- A review on corrosion of metals and protection / S.V. Yadla et al // International Journal of Engineering Science & Advanced Technology. – 2012. – № 2(3). – R. 637-644. (In English).
- Corrosion-resistant metallic coatings / F. Presuel-Moreno et al // Materials today. – 2008. – № 11(10). – R. 14-23. (In English).
- Metody bor'by s korroziei metallov / V.G. Kozlov i dr. // Fundamental'nye issledovaniya. – 2017. – № 6. – R. 53-57. (In Russian).
- Osnovy ehlektrokhimicheskoi korrozii metallov i splavov: ucheb. posobie / L.G. Petrova, G.YU. Timofeeva, P.E. Demin, A.V. Kosachev. – M.: MADi, 2016. – 148 s. (In Russian).
- Kaesche H. / Corrosion of metals: physicochemical principles and current problems / H. Kaesche // Springer Science & Business Media. – 2012. (In English).
- Isakov, S.A. Metallicheskie pokrytiya dlya zashchity stal'nykh detalei ot korrozii, poluchennye metodom ehlektrodugovoi metallizatsii. / S.A. Isakov, A.G. Lezhava // Yovye funktsional'nye materialy, sovremennyye tekhnologii i metody issledovaniya. – 2016. – R. 15-16. (In Russian).
- Vliyanie tekhnologicheskikh rezhimov napyleniya zashchitnykh pokrytii na fiziko-mekhanicheskie i korroziionnye svoistva / M.V. Ushakov i dr. // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2023. – № 2. – R. 584-590. (In Russian).
- Polyarizatsionnye kharakteristiki metallicheskih materialov / N.G. Kats i dr. // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2016. – № 1(49). – R. 138-142. (In Russian).
- Demenkova, L.G. / Izuchenie korrozii metallov metodom snyatiya polyarizatsionnykh krivykh / L.G. Demenkova, A.V. Sudarikov // In Innovatsionnye tekhnologii v mashinostroenii: sbornik trudov VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 19-21 maya 2016 g., Yurga, Tomsk. – R. 221-223. (In Russian).

## Information about financing

*This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP14871373).*

**Ж.Ә. Бақыт<sup>1,2\*</sup>, А.Б. Шынарбек<sup>1,2</sup>, Р.К. Кусаинов<sup>1,2</sup>, О.А. Степанова<sup>1,2</sup>, А.Ж. Жасұлан<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

<sup>2</sup>Инжинирингтік орталық,  
Қазақстан Республикасы, Семей қ., Физкультурная к-сі, 4в

\*e-mail: bakytzhanel@gmail.com

## МЕТАЛЛ БЕТТЕРІН КОРРОЗИЯДАН ҚОРҒАУ ҮШІН ЭЛЕКТР ДОҒАЛЫҚ МЕТАЛДАНДЫРУДЫ ҚОЛДАНУ: 45 БОЛАТ ПЕН 30ХГСА СЫМ МЫСАЛЫНДА ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа:** 30ХГСА сымынан 45 болатқа қолданылатын қорғаныш жабынының электр доғалық металдандыру әдісін қолданып, өңделмеген болат 45пен салыстырғанда коррозияға төзімділігіне әсері зерттеу жүргізілді. Сынақ әдістемесіне поляризация қисықтары сияқты электрохимиялық талдаулар кірді. Нәтижелер стандартты 45 болатпен салыстырғанда 30ХГСА сымымен қапталған 45 болаттың коррозияға төзімділігі айтарлықтай жоғары екенін көрсетті.

Осы зерттеудің нәтижесінде болаттардың коррозияға төзімділігін арттырудың тиімді әдісі ретінде электр доғалық металдандыру технологиясының маңыздылығы дәлелденді. 45 болаттан 30ХГСА сымының қорғаныш жабынын пайдалану оның сипаттамаларын жақсартып қана қоймайды, сонымен қатар агрессивті ортада ұзақ мерзімді пайдалану мүмкіндігін береді. Сондай-ақ, бұл әдістер басқа материалдар түрлеріне бейімделуі мүмкін, бұл металл конструкцияларын қорғау саласында жаңа перспективаларды ашады. Бұл зерттеу металдарды өндіру мен өңдеуде жаңа нормалар мен стандарттарды әзірлеуге негіз бола алады. Бұл нәтижелер материал сенімділігі негізгі фактор болып табылатын мұнай және газ, теңіз және құрылыс жобалары және машина жасау сияқты маңызды салаларда қолдану үшін жақсартылған коррозияға төзімді материалдарды әзірлеуді жеңілдететін құнды ғылыми деректерді береді.

**Түйін сөздер:** коррозияға төзімділік, болат 45, электр доғасының металдануы, жабын, балқитын болат сым

**Ж.Ә. Бақыт<sup>1,2\*</sup>, А.Б. Шынарбек<sup>1,2</sup>, Р.К. Кусаинов<sup>1,2</sup>, О.А. Степанова<sup>1,2</sup>, А.Ж. Жасұлан<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинка, 20 А

<sup>2</sup>Инжиниринговый центр,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Физкультурная, 4в

\*e-mail: bakytzhanel@gmail.com

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КОРРОЗИИ: ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПРИМЕРЕ СТАЛИ 45 И ПРОВОЛОКИ 30ХГСА

Было проведено исследование влияние защитного покрытия, нанесенного на сталь 45 из проволоки 30ХГСА методом электродуговой металлизации, на сопротивляемость коррозии по сравнению с необработанной сталью 45. Методика испытаний включала проведение электрохимических анализов, таких как поляризационные кривые. Результаты показали, что сталь 45 с покрытием из проволоки 30ХГСА показывает значительно более высокую коррозионную стойкость по сравнению со стандартной сталью 45.

В результате данного исследования подтверждается значимость технологии электродуговой металлизации как эффективного способа повышения коррозионной стойкости сталей. Применение защитного покрытия из проволоки 30ХГСА на сталь 45 не только улучшает её характеристики, но и предоставляет возможности для более долговечного использования в агрессивных средах. Также, данные методы могут быть адаптированы для других типов материалов, что открывает новые перспективы в области защиты металлоконструкций. Это исследование может служить основой для разработки новых норм и стандартов в производстве и обработке металлов. Эти результаты предоставляют ценные научные данные, которые могут способствовать разработке улучшенных коррозионно-стойких материалов для применения в таких критически важных отраслях, как нефтегазовая промышленность, морские и строительные проекты, машиностроение, где надежность материалов является ключевым фактором.

**Ключевые слова:** коррозионная стойкость, сталь 45, электродуговая металлизация, покрытие, проволока стальная наплавочная.

#### Information about the authors

**Zhanel Bakyt\*** – Master's student of the Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; junior researcher of the «Engineering Center»; e-mail: bakytzhanel@gmail.com.

**Aibek Shynarbek** – Master's student of the Department «Mechanical Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; junior researcher of «Engineering Center»; e-mail: aibeek-99@list.ru.

**Rinat Kussainov** – Senior Lecturer, Department of Physical and Mathematical Sciences and Informatics; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; Head of «Engineering Center»; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5166-4761.

**Olga Stepanova** – Candidate of Technical Sciences, Head of Department «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: aug11@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5221-1772>.

**Ainur Zhassulan** – Master of the Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey; Republic of Kazakhstan; senior researcher at the «Engineering Center»; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Жанел Әділжанқызы Бақыт\*** – «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Инжинирингтік орталықтың» кіші ғылыми қызметкері; e-mail: bakytzhanel@gmail.com.

**Айбек Бақытжанұлы Шынарбек** – «Машина жасау» кафедрасының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Инжинирингтік орталықтың» кіші ғылыми қызметкері; e-mail: aibeek-99@list.ru.

**Ринат Кенжеевич Кусаинов** – физика-математика ғылымдары және информатика кафедрасының аға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Инжинирингтік орталықтың» жетекшісі; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5166-4761.

**Ольга Александровна Степанова** – т.ғ.к., «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасының меңгерушісі; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: aug11@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5221-1772>.

**Айнұр Жасұланқызы Жасұлан** – «Техникалық физика және жылуэнергетика» кафедрасының магистрі; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Инжинирингтік орталықтың» аға ғылыми қызметкері; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

#### Сведения об авторах

**Жанел Әділжанқызы Бақыт\*** – магистрант кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; младший научный сотрудник «Инжинирингового центра»; e-mail: bakytzhanel@gmail.com.

**Айбек Бақытжанұлы Шынарбек** – магистрант кафедры «Машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; младший научный сотрудник «Инжинирингового центра»; e-mail: aibeek-99@list.ru.

**Ринат Кенжеевич Кусаинов** – старший преподаватель кафедры физико-математических наук и информатики; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; Руководитель «Инжинирингового центра»; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5166-4761.

**Ольга Александровна Степанова** – к.т.н, заведующая кафедрой «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: aug11@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5221-1772>.

**Айнұр Жасұланқызы Жасұлан** – магистр кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; старший научный сотрудник «Инжинирингового центра»; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

*Received 22.04.2024*

*Revised 23.06.2024*

*Accepted 24.06.2024*

Г.Б. Абдилова<sup>1\*</sup>, Ж.А. Сергибаева<sup>1</sup>, Б.Б. Кабулов<sup>1</sup>, А.А. Баядилова<sup>1</sup>, Б.А. Лобасенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20 А

<sup>2</sup>Кемеров мемлекеттік университеті  
650000, Ресей, Кемеров қ., Красная көшесі, 6

\*e-mail: abdilova1979@bk.ru

## ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖАБДЫҚТЫҢ ЖҰМЫСҚА ҚАБІЛЕТТІЛІГІН АРТТЫРУ ЖОЛДАРЫ

**Аңдатпа:** Ет өнеркәсібіндегі өндірістік жүйелер мен жабдықтардың өнімділігін арттыру техникалық қызмет көрсету қызметімен тығыз байланысты. Total Productive Maintenance (TRM) және Lean production стратегиясы жабдықтың тиімділігін төмендететін шығындардың негізгі түрлерін бағалайтын Overall Equipment Effectiveness (OEE) көрсеткішін бағалаудың маңызды құралы болып табылады. Азық-түлік массаларының құрылымдық-механикалық сипаттамаларының, шикізаттың ылғалдылығының, температура мен тұтқырлықтың, өңдеу қысымының, тығыздықтың жабдықтың оңтайлы жұмыс режимдеріне байланысы талданды. OEE тұжырымдамасын қолдана отырып, жабдықтың жұмыс істеу ерекшеліктеріне байланысты уақытша шығындар анықталды. Шығындардың түрлері жіктеледі: жабдықтың тоқтап қалуы және қайта реттелуі (қол жетімділігі немесе дайындығы), жабдықтың қысқа мерзімді тоқтауы және өңдеу жылдамдығының төмендеуі (жабдықтың өнімділігі), өнімнің істен шығуы және жабдықты іске қосу кезінде өнімнің жоғалуы (сапа). Жабдықтың жалпы тиімділігін зерттеудің осы әдісін қолдану ет өнеркәсібінде қолданылатын кез-келген технологиялық жабдыққа қолданылуы мүмкін және технологиялық жабдықты пайдалану кезінде туындайтын көптеген мәселелерді жоюға, оның техникалық-экономикалық көрсеткіштерін жақсартуға, техникалық қызмет көрсету мен жөндеуді жақсарту үшін шаралар жүйесін жасауға мүмкіндік береді. Осы тұжырымдаманы қолданып жабдықтың тиімділігін төмендететін факторларды жүйелеуге мүмкіндік алуға болады. Сонымен бірге жабдықтың жұмыс уақытының жоғалуына әсер ететін факторлар туралы ақпарат жабдыққа техникалық қызмет көрсету және жөндеу жүйесін құруға мүмкіндік беретіндігі дәлелденген.

**Түйін сөздер:** тамақ өнеркәсібі, жабдықтар, жабдықты пайдалану тиімділігі, тиімділік көрсеткіштерінің мониторингі, пайдалану.

Қазақстан Республикасының тамақ өнеркәсібінің көптеген салаларының ішінде ет және ет өнімдерін өндіру дәстүрлі түрде ауыл шаруашылығының негізгі және басым бағыттарының бірі болып саналады. Алайда, ет өңдейтін кәсіпорындардың көпшілігінің техникалық жағдайы мұқият жаңартуды және қайта құруды қажет етеді. Кәсіпорынның ерекшеліктерін, оның мақсаттары мен міндеттерін ескере отырып, жартылай ет фабрикаларын өндіруге арналған жабдықтар нарығы отандық немесе импорттық технологиялық желілерді, сондай-ақ жабдықтардың жеке бірліктерін ұсына алады.

Осыған қарамастан, әр кәсіпорын басшылығының алдында жабдықтың тиімділігін арттыруға, оны күтіп ұстауға және жөндеуге байланысты мәселелер туындайды. Бұл мәселелерді шешу үшін жабдықты пайдалану кезінде оның жоғары өнімділігін, сапалы өнімді шығаруды және жоспардан тыс тоқтап қалуды азайту арқылы уақыт жоғалтуды төмендетуді қамтамасыз ететін тәсілдер мен әдістерді қажет етеді. Бұл жағдайда «үнемді өндіріс» (lean production) әдістерін енгізу өндірістік процестерге неғұрлым жауапты көзқарасты қалыптастыруға, қолда бар қуаттарды тиімдірек пайдалану есебінен өндіріс көлемін ұлғайту үшін резервтерді анықтауға, сондай-ақ өнімнің өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта «үнемді өндіріс» көптеген елдердегі және әртүрлі салалардағы кәсіпорындарда енгізілуде [1].

«Үнемді өндіріс» жүйесі аясында «кайдзен» (өндіріс процестерін үздіксіз жетілдіру), «5S жүйесі» (жұмыс кеңістігін ұйымдастыру және еңбекті оңтайландыру), «TRM» (Total Productive Maintenance – жабдыққа әмбебап күтім жасау жүйесі) т.б. сияқты өндіріс тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін бірқатар әдістерді бөліп көрсетуге болады..



Атап айтқанда, «ТРМ» бағдарламасының мақсаты жабдыққа қызмет көрсетуге байланысты шығындарды жою болып табылады. «ТРМ» жабдықтың сенімділігін сақтаудың профилактикалық әдістеріне бағытталған 8 қағидаға негізделген [2]:

1. **Дербес қызмет көрсету** (ағымдағы қызмет көрсету үшін операторларға жауапкершілік жүктеу);
2. **Жоспарлы қызмет көрсету** (техникалық қызмет көрсету тәртібі мен кестесін әзірлеу);
3. **Сапалы қызмет көрсету** (қателерді анықтау және алдын алу);
4. **Үздіксіз жетілдіру** ("кайдзен" тұжырымдамасына негізделген);
5. **Жабдықты ерте басқару** (жаңа жабдықты әзірлеу мен енгізуді басқару жүйесін құру);
6. **Қызметкерлерді оқыту** (қызмет көрсетумен айналысатын персоналдың білімін жақсарту);
7. **Қауіпсіздік, денсаулық, қоршаған орта** (өндірісте қауіпсіз және салауатты жұмыс ортасын құру);
8. **Әкімшілік және кеңселік ТРМ** (әкімшілік функциялардағы шығындарды жою).

Профилактикалық жөндеу және жабдықты жұмыс күйінде қолдау арқылы оны барынша өнімді, үнемді пайдалануға қол жеткізіледі [3].

Жоғары сапалы өнімді шығарудың қажетті шарты – бұл машиналардың (жабдықтар, жабдықтау), материалдар мен әдістердің (қызмет көрсету жүйесі, жұмыс әдістері және өлшеу әдістері) идеалды жағдайы. Негізгі өндірістің тиімділігі еңбек құралдарын минималды жөндеу шығындарымен жұмыс жағдайында ұстау процесін қамтамасыз етуге арналған қызметтердің жұмысына көбірек тәуелді бола бастады. Негізгі өндіріс үшін оларды материалдармен, жартылай фабрикаттармен, әр түрлі энергиямен, құрал-саймандармен, көлікпен жабдықтау қажет [4].

Осы әртүрлі функциялардың барлығын орындау кәсіпорынның қосалқы бөлімшелерінің міндетін құрайды – жөндеу, аспаптық, энергетикалық, көлік, қойма және т.б. оларды дұрыс ұйымдастыруға және одан әрі жетілдіруге тұтастай алғанда өндіріске техникалық қызмет көрсетудің тиімділігін арттырумен байланысты.

Кез келген басқа процесс сияқты, техникалық қызмет көрсету және жөндеу шығындарын азайту, жабдықтың дайындық коэффициентін және оның жұмыс көрсеткіштерін барынша арттыру үшін «ТРМ» функциясы үнемі жетілдірілуі керек. Бұл ретте Total Productive Maintenance (ТРМ) және үнемді өндіріс (Lean) жабдықтарына әмбебап қызмет көрсету стратегиясының маңызды құралы жабдықтың жалпы тиімділігінің көрсеткіші (ОЕЕ) болып табылады, оның көмегімен жабдықтың жұмыс тиімділігін төмендететін шығындардың негізгі түрлері бағаланады [5]. Тиімділіктің негізгі көрсеткіштері үш метрика болып табылады, атап айтқанда – қолжетімділік, өнімділік, сапа. Егер алғашқы екі көрсеткіш (қолжетімділік және өнімділік) жабдықтың тоқтап қалуынан болатын уақыт шығынын ескерсе, онда сапа көрсеткіші өнімді шығару кезінде сапаның жоғалуын ескереді.

Жабдықтың дайындық коэффициентін және оның жұмыс көрсеткіштерін арттыру әдетте қайта құруды қажет етеді, бұл әрқашан қолданыстағы жабдықты жаңасына ауыстыруға негіз бола бермейді. Қажетті нәтижеге жабдықтың сенімділігі мен жөндеуіне әсер ететін жабдықтың жоғары дайындығы арқылы қол жеткізуге болады. Сондықтан техникалық қызмет көрсету функциясы кез келген өндірістік кәсіпорынның тұрақты жұмысы үшін өте маңызды және Парето ережесі 80-20-ға сәйкес, бұл күш-жігердің көпшілігі тиімсіз және қысқартылуы керек дегенді білдіреді, техникалық қызмет көрсету және жөндеу шығындарының 80% жабдықтың 20% – техникалық қызмет көрсетуге жұмсалады [6]. Дәл осы проблемалық жабдықты анықтап, оған ерекше назар аудару керек.

Пісіру әдістеріне байланысты ұсақталған ет шикізатының құрамы әртүрлі, бұл әртүрлі өңдеу дәрежесіне, ылғалдылыққа, майлылыққа және басқа факторларға байланысты. Сондықтан, зерттеу нысаны ретінде шұжық өндірісінде қолданылатын фарштың өндірістік құрамы таңдалды.

Жабдықтың тиімділігін анықтаудағы маңызды элементі технологиялық жабдықтың жұмыс процесінде үлкен проблемалар тудыратын шығындар туралы ақпарат жинау бойынша мониторингті ұйымдастыру және жүргізу болып табылады. Алынған деректерді өңдеу үшін Парето талдауын қолдану ұсынылады. Парето диаграммасы-бұл факторлардың әсерін жоюға немесе азайтуға басымдық беру үшін шығындарға ең көп әсер ететін бірнеше, бірақ маңызды

факторларды анықтауға мүмкіндік беретін деректерді графикалық түрде бейнелеу тәсілі. Жабдықтың жалпы тиімділігіне үнемі жүргізілетін мониторинг тек бұзылуларға байланысты тоқтап қалуды ғана емес, сонымен қатар жабдықты тиімсіз баптау, оның жұмыс өнімділігінің төмендеуі немесе материалдардың түсуін күту салдарынан болатын шығындарды да анықтайды [7].

Тамақ өнеркәсібі кәсіпорындарындағы технологиялық процестер көптеген және әртүрлі, бірақ олар үшін ортақ нәрсе-бастапқы органикалық шикізат дайын тағамға өңделеді. Бұл жағдай азық-түлік өндірісінің ерекшелігін анықтайды, бұл шикізатты қабылдау, сақтау және өңдеу абсолютті тазалық жағдайында жүргізілуі керек және өнімдерді ластанудан және бүлінуден, сондай-ақ оларға бөгде заттар мен заттардың кездейсоқ түсуінен қорғауы қажет.

Азық-түлік өндірісінің ерекшелігін ескере отырып – жартылай фабрикаттар немесе дайын тамақ өнімдерін өндіру, тамақ жабдықтарына қойылатын бірқатар талаптарды сақтау қажет [8]:

- жабдықтың технологиялылығы – азық-түлік шикізатын өңдеудің әр кезеңінде белгіленген технологиялық процестерді орындау (бастапқы шикізатты барынша пайдалану және оның тағамдық құндылығын сақтау);
- өндірілетін тамақ өнімдерінің сапасы деңгейіне байланысты жабдықтың гигиенасы (өніммен жанасатын жұмыс бөлшектері мен олардың беттері коррозияға төзімді құрылымдық материалдардан жасалуы керек);
- жабдықтың сенімділігі – жұмыстың максималды ықтимал ұзақтығы (жұмыс істемеу өнімділіктің төмендеуіне, технологиялық процестің бұзылуына, өнімнің жоғалуына әкеліп соқтырады);
- жабдықты жобалаудың қарапайымдылығы (жұмыс механизмдерін бөлшектеу және құрастыру жеңілдігі, жөндеу жұмыстарын жүргізу, санитарлық өңдеу және техникалық қызмет көрсету үшін еркін қол жеткізу мүмкіндігі, тораптар, жұмыс және ең тозған бөлшектер оңай ауыстырылуы керек).

Машиналардың жұмыс органдары өз конструкциясы бойынша өңделетін шикізаттың шамадан тыс қажалуын, оған майлау майларының, тоттың немесе металл шаңының бөлшектердің тозуынан түсу мүмкіндігін болдырмауы тиіс.

Қазіргі уақытта тамақ өнеркәсібі кәсіпорындарында жоғары өнімді жабдықтарды пайдалану, әртүрлі жартылай фабрикаттар мен дайын өнімдерді өндіру бойынша ағынды желілерді құру, прогрессивті технологияларды қолдану негізінде өндіріске жаңа үздіксіз технологиялық процестерді енгізу байқалады. Бұл ретте өнім өндіру көлемінің өсуін қамтамасыз ету жөніндегі кез келген іс-шаралар кешені машиналар мен жабдықтарды неғұрлым толық және тиімді пайдалануды, тоқтап қалуларды жоюды, жаңа жабдықты игеру мерзімдерін қысқартуды, өндірістік процестерді одан әрі қарқындатуды көздеуге тиіс. Сонымен қатар, жабдық өндірілетін өнімнің сапасына әсер ететін факторлардың бірі болып табылатындығын ескеру қажет, оны қолданылатын шикізаттың құрылымдық-механикалық сипаттамалары және әртүрлі технологиялық факторлардың ҚМС-на әсері арқылы анықтауға болады [9].

Дайын тамақ өнімдерінің сапасы оларды жасау үшін қолданылатын шикізаттың сапасына байланысты. Шикізаттың сапасына көбінесе технологиялық өңдеу және рецептураны сақтау әсер етеді.

Шикізат пен одан жасалған өнімдердің әртүрлілігі көптеген түбегейлі әртүрлі технологияларды, машиналар мен аппараттардың түрлерін қолдануды қажеттілігін анықтайды. Реологиялық әдістерді қолдана отырып, тамақ өнімдерінің жартылай фабрикаттарын дайындаудың жекелеген кезеңдерінде өндіруде оңтайлы технологиялық және механикалық параметрлерді сақтау дайын өнімнің шығымы мен сапасын тұрақтандыруға мүмкіндік береді. Технологиялық өңдеу барысында ет шикізатының өзгерісін болжау үшін оның сапасын объективті көрсететін функционалды-технологиялық және құрылымдық-механикалық көрсеткіштер кешені қолданылады (рН мәні, суды байланыстыратын және май ұстайтын қабілеттер, су белсенділігі, жабысқақтық, тұтқырлық, икемділік және т.б.) [10].

Кәсіпорынның кез-келген түрінің ойдағыдай жұмыс істеуі үшін қолда бар жабдықты пайдаланудың нақты тиімділігін объективті бағалау қажет. Бұл ақпараттың болуы технологиялық жабдықты пайдалану барысында туындайтын бірқатар проблемаларды жоюға, оның техникалық-экономикалық көрсеткіштерін жақсартуға, оған техникалық қызмет көрсету

мен жөндеуді жетілдіру жөніндегі шаралар жүйесін әзірлеуге мүмкіндік береді. Жабдықты тиімді пайдалануды бағалау ретінде жабдықтың жұмысына әсер ететін барлық уақытша шығындарды анықтауға мүмкіндік беретін OEE (Overall Equipment Effectiveness) тұжырымдамасын ұсынуға болады (1-сурет) [11].

ЖАЛПЫ ЖҰМЫС УАҚЫТЫ – 24•365		
A	ТАЗА ЖҰМЫС УАҚЫТЫ	Жұмыстан тыс уақыт
B	МАШИНА УАҚЫТЫ	Тоқтап қалу
C	ЖОСПАРЛАНҒАН ӨНДІРІС	
D	АҒЫМДАҒЫ ӨНДІРІС	Жылдамдықты төмендету
E	АҒЫМДАҒЫ ӨНДІРІС	
F	САПАЛЫ ӨНІМДЕР	Ақаулы өнімдер

Сурет 1 – OEE элементтері және жабдықтың жұмыс істеу ерекшеліктеріне байланысты шығындар

1 суретке сәйкес пайызбен көрсетілген жабдықтың жалпы тиімділігі мына формула бойынша есептеледі

$$OEE = (B/A) \cdot (D/C) \cdot (F/E) \cdot 100, \quad (1)$$

мұнда  $B/A$  – қолжетімділік (жабдықтың тоқтап қалуына байланысты уақытты жоғалту);

$D/C$  – өнімділік (жабдықтың қысқа мерзімді тоқтауына байланысты жылдамдықтың жоғалуы және нәтижесінде өткізу қабілеттілігінің төмендеуі);

$F/E$  – сапа (стандарттарға сәйкес келмейтін өнім өндіруге байланысты сапаның жоғалуы).

Шығындар өндірістің жалпы тиімділігін төмендетеді. Халықаралық тәжірибеде OEE көрсеткіші 65%-дан төмен болса нашар, 65%-дан 75%-ға дейін қанағаттанарлық, 75%-дан жоғары жақсы деп саналады [11].

Жабдықтың жұмысын бағалау кезінде шығындар алты түрге бөлінеді, оларды келесідей жіктеуге болады.

#### Қолжетімділік (дайындық):

Тоқтап қалу – жабдықтың сынуы (жабдықтың істен шығуының ең көп тараған себебі), жабдықты жоспардан тыс ауыстыру үшін тоқтаулар және жоспардан тыс қызмет көрсету, қосалқы жабдықтың істен шығуы, өндірістік кестеде көзделмеген тоқтаулар;

Жабдықты қайта реттеу/баптау – бөлшектеу/монтаждау, жабдықты жоспарлы ауыстыру, дайындық жұмыстарын ұйымдастыру, шығыс материалдары бойынша шектеулер;

#### Өнімділік:

Жабдықтың қысқа мерзімді тоқтауы – ұсақ ақауларға, материалдарды жеткізудегі үзілістерге байланысты болуы мүмкін. Дегенмен, бірнеше секундтан 5 минутқа дейін созылатын бұл тоқтаулар өнімділіктің жоғалуына және өнім көлемінің төмендеуіне әкеледі;

Өңдеу жылдамдығының төмендеуі – жабдықтың тозуы, қуаттың төмендеуі, жүктеме уақытының ұлғаюы, жабдықтың ырғақсыз жұмысы, адам факторы;

#### Сапасы:

Ақау және қайта жөндеу – өндіріс процесінде тұтынушылардың талаптарына сәйкес келмейтін өнімді өндіру. Кондиционерленбеген өнімді қайта жөндеу және ақауларды жою кезінде ресурстардың жоғалуы мен осы жұмыстарды орындауға кететін уақыттың салдарынан шығындар болады;

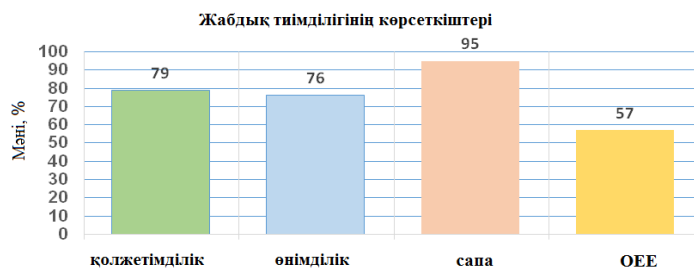
Жабдықты іске қосу кезіндегі шығындар – жабдықты іске қосу, қыздыру немесе басқа бастапқы кезеңдерде жасалған ақаулар.

Әртүрлі кәсіпорындарда шығындар жіктелуіне белгілі бір операцияларды орындау кезінде пайда болатын шығындардың басқа да түрлері қосылуы мүмкін.

Жабдықтың тиімділігін анықтаудағы маңызды элемент технологиялық жабдықтың жұмыс процесінде үлкен проблемалар тудыратын шығындар туралы ақпарат жинау бойынша мониторингті ұйымдастыру және жүргізу болып табылады. Алынған мәліметтерді өңдеу үшін Парето талдауын қолдану ұсынылады, бұл шығындарға ең көп әсер ететін бірнеше, бірақ маңызды факторларды анықтауға мүмкіндік береді [7, 11].

Жабдықтың жалпы тиімділігіне үнемі жүргізілетін мониторинг тек бұзылуларға байланысты тоқтап қалуды ғана емес, сонымен қатар жабдықты тиімсіз баптау, оның жұмыс өнімділігінің төмендеуі немесе материалдардың түсуін күту салдарынан болатын шығындарды да анықтауға мүмкіндік береді.

Жабдықтың жалпы тиімділігінің көрсеткіштері 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2 – Жабдықтың жалпы тиімділігінің көрсеткіштері

Жоғарыда келтірілген мәліметтерден көріп отырғанымыздай, оны пайдалану процесінде жабдықтың төмен тиімділігіне жабдықтың қолжетімділігі (дайындығы) көрсеткішінің де, жабдықтың өнімділігіне байланысты көрсеткіштің де төмендеуі айтарлықтай әсер етті. Бұл факт жабдықтың тоқтап қалуын азайту және басқару жолдарын іздеу, технологиялық жабдықты пайдалану процесінде туындайтын шығындарды болдырмау қажеттілігін көрсетеді, яғни жабдықтың жалпы тиімділігінің өсуінің негізгі резерві шығынды жою болып табылады. Кез келген процесті орындау үшін технологиялық желіге енгізілген жабдықтың әрбір бірлігі үшін осындай ұқсас зерттеулер жүргізілуі мүмкін.

Жартылай фабрикаттардың көлемі мен ассортиментін ұлғайтудың, ресурстарды неғұрлым ұтымды пайдаланудың, азық-түлік өнімдерінің тағамдық құндылығын үнемі арттырудың тұрақты талаптары технологиялық процестерді оңтайландыру және қарқындалу, жартылай фабрикаттардың сапасын бағалау қажеттілігін талап етеді. Жартылай фабрикаттарды өндіру процестерін механикаландыру және автоматтандыру оларды өндіруде қолданылатын шикізаттың қасиеттері, әртүрлі технологиялық факторлардың әсері туралы идеяларсыз мүмкін емес. Осыған байланысты жоғары өнімділігі мен сенімділігі бар жартылай фабрикаттарды өндіруге арналған заманауи жабдықтарға сұраныс артып келеді.

Қарастырылып отырған жабдыққа сәйкес келетін қолжетімділік, өнімділік және сапа бойынша ең жақсы дәлелдерге негізделген белгілі бір мақсатты мән болса, оның тоқтап қалуын азайту арқылы жабдықты пайдалану тиімділігін арттыру туралы ақпарат алуға болады.

OEE тұжырымдамасын қолдана отырып және жабдықтың істен шығу себептері туралы статистиканы жинақтай отырып, біз жабдықтың тиімділігін төмендететін факторларды жүйелеуге мүмкіндік аламыз. Сонымен қатар, жабдықтың жұмыс уақытының жоғалуына әсер ететін факторлар туралы ақпарат жабдыққа техникалық қызмет көрсету және жөндеу жүйесін (ТҚКЖЖЖ) құруға мүмкіндік береді және ескерту қызметін жоспарлау және қосалқы бөлшектер мен материалдармен уақтылы қамтамасыз ету үшін пайдаланылуы мүмкін. Кез-келген үлкен және заманауи өндіріс үшін бұл өте маңызды.

### Әдебиеттер тізімі

1. Вумек Дж. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании: пер. с англ. / Дж. Вумек, Д. Джонс. – М.: Альпина Паблишер, 2013. – 472 с.
2. Ihueze C.C. Maximizing overall equipment effectiveness in a food processing industry: a case study / C.C. Ihueze, C.M. U-Dominic // Archives of Current Research International. – 2017. – № 11(4). – P. 1-10.
3. Afefy I. Implementation of total productive maintenance and overall equipment effectiveness evaluation / I. Afefy // International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering. – 2014. – № 13(1). – P. 60-75.
4. Sharma A. Manufacturing performance and evolution of TPM / Sharma A. Shudhanshu, Bhardway A. // International Journal of Engineering Science and Technology. – 2012. – № 4(3). – P. 854-866.
5. Methodology of overall equipment effectiveness calculation in the context of Industry 4.0 environment / Z. Aleš et al // Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and reliability. – 2019. – № 21(3). – P. 411-418.

6. Powell T. Tanya Sammut-Bonnici Pareto analysis / T. Powell // In book: Wiley Encyclopedia of Management Publisher: John Wiley & Sons. Project: Wiley Encyclopedia of Management. – 2015. – Vol 12.
7. Netes V.A. Pareto analysis approach to reliability improvement / V.A. Netes // 2d International Workshop on the Design of Reliable Communication Networks (DRCN 2000). – 2000. – P. 187-191.
8. Пелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / А.И. Пелеев. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 519 с.
9. Смирнов М.Б. Оборудование для формования пищевых масс: Аналитический обзор / М.Б. Смирнов, Г.Б. Абдилова, Д.Т. Манапова. – Семей: «Pro100print», 2019. – 81 с.
10. Прогнозирование качества мясной продукции методами математического программирования / А.Б. Лисицын et al // Теория и практика переработки мяса. – 2016. – № 1(1). – С. 75-90.
11. Общая эффективность оборудования / пер. с англ. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2007. – 120 с.

### References

1. Vumek Dzh. Berezhlivoe proizvodstvo: Kak izbavit'sya ot poter' i dobit'sya protsvetaniya vashei kompanii: per. s angl. / Dzh. Vumek, D. Dzhons. – М.: Al'pina Pabliher, 2013. – 472 s. (In Russian).
2. Ihueze C.C. Maximizing overall equipment effectiveness in a food processing industry: a case study / C.C. Ihueze, C.M. U-Dominic // Archives of Current Research International. – 2017. – № 11(4). – R. 1-10. (In English).
3. Afefy I. Implementation of total productive maintenance and overall equipment effectiveness evaluation / I. Afefy // International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering. – 2014. – № 13(1). – R. 60-75. (In English).
4. Sharma A. Manufacturing performance and evolution of TPM / Sharma A. Shudhanshu, Bhardway A. // International Journal of Engineering Science and Technology. – 2012. – № 4(3). – R. 854-866. (In English).
5. Methodology of overall equipment effectiveness calculation in the context of Industry 4.0 environment / Z. Aleš et al // Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and reliability. – 2019. – № 21(3). – R. 411-418. (In English).
6. Powell T. Tanya Sammut-Bonnici Pareto analysis / T. Powell // In book: Wiley Encyclopedia of Management Publisher: John Wiley & Sons. Project: Wiley Encyclopedia of Management. – 2015. – Vol 12. (In English).
7. Netes V.A. Pareto analysis approach to reliability improvement / V.A. Netes // 2d International Workshop on the Design of Reliable Communication Networks (DRCN 2000). – 2000. – P. 187-191.
8. Peleev A.I. Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatii myasnoi promyshlennosti / A.I. Peleev. – М.: Pishchevaya promyshlennost', 1971. – 519 s. (In English).
9. Smirnov M.B. Oborudovanie dlya formovaniya pishchevykh mass: Analiticheskii obzor / M.B. Smirnov, G.B. Abdilova, D.T. Manapova. – Semei: «Pro100print», 2019. – 81 s. (In Russian).
10. Prognozirovaniye kachestva myasnoi produktsii metodami matematicheskogo programmirovaniya / A.B. Lisitsyn et al // Teoriya i praktika pererabotki myasa. – 2016. – № 1(1). – S. 75-90. (In Russian).
11. Obshchaya ehffektivnost' oborudovaniya / per. s angl. – М.: Institut kompleksnykh strategicheskikh issledovaniy, 2007. – 120 s. (In Russian).

**Г.Б. Абдилова<sup>1\*</sup>, Ж.А. Сергибаева<sup>1</sup>, Б.Б. Кабулов<sup>1</sup>, А.А. Баядилова<sup>1</sup>, Б.А. Лобасенко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Кемеровский государственный университет,  
650000, Россия, г. Кемерово, Красная улица, 6

\*e-mail: abdilova1979@bk.ru

### ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Повышение производительности производственных систем и оборудования в мясной промышленности неразрывно связано с деятельностью по техническому обслуживанию. Показано, что стратегия Total Productive Maintenance (TRM) и Lean production является важным инструментом оценки показателя Overall Equipment Effectiveness (OEE), с помощью которого*

оценивают основные виды потерь, снижающих эффективность работы оборудования. Проанализирована связь структурно-механических характеристик пищевых масс, влажности исходного сырья, температуры и вязкости, давления обработки, плотности на оптимальные режимы работы оборудования. С использованием концепции ОЕЕ определены, временные потери, связанные с особенностями функционирования оборудования. Классифицированы разновидности потерь: простой и переналадка (доступность или готовность) оборудования, кратковременная остановка оборудования и снижение скорости обработки (производительность оборудования), брак продукции и потери продукции при запуске (качество) оборудования. Применение данного метода исследования общей эффективности работы оборудования могут быть применены для любого технологического оборудования, применяемого в мясной промышленности и позволит устранить многие проблемы, которые возникают в ходе эксплуатации технологического оборудования, улучшить его технико-экономические показатели, разработать систему мер по совершенствованию его технического обслуживания и ремонта. Используя эту концепцию, можно получить возможность систематизировать факторы, снижающие эффективность оборудования. При этом доказано, что информация о факторах, влияющих на потери времени работы оборудования, позволяет создать систему технического обслуживания и ремонта оборудования.

**Ключевые слова:** пищевая промышленность, оборудование, эффективность использования оборудования, мониторинг показателей эффективности, эксплуатация.

**G. Abdilova<sup>1\*</sup>, Zh. Sergibaeva<sup>1</sup>, B. Kabulov<sup>1</sup>, A. Bayadilova<sup>1</sup>, B. Lobasenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street

<sup>2</sup>Kemerovo State University,  
650000, Russia, Kemerovo, Krasnaya Street, 6

\*e-mail: abdilova1979@bk.ru

## WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

*Increasing the productivity of production systems and equipment in the meat industry is inextricably linked with maintenance activities. The article analyzes the influence of manufacturability, hygiene, reliability, simplicity of equipment design on the main indicators of the quality of meat products. It is shown that the Total Productive Maintenance (TRM) and Lean production strategy is an important tool for evaluating the Overall Equipment Effectiveness (OEE) indicator, which is used to evaluate the main types of losses that reduce the efficiency of equipment. The relationship of structural and mechanical characteristics of food masses, humidity of raw materials, temperature and viscosity, processing pressure, density on the optimal operating modes of the equipment is analyzed. Using the OEE concept, the time losses associated with the functioning of the equipment are determined. The types of losses are classified: downtime and changeover (availability or readiness) of equipment, short-term shutdown of equipment and reduction of processing speed (equipment performance), defective products and product losses at startup (quality) of equipment. The application of this method of studying the overall efficiency of the equipment can be applied to any technological equipment used in the meat industry and will eliminate many problems that arise during the operation of technological equipment, improve its technical and economic indicators, develop a system of measures to improve its maintenance and repair. Using this concept, it is possible to systematize the factors that reduce the efficiency of the equipment. At the same time, it is proved that information about the factors affecting the loss of equipment operation time allows you to create a system for maintenance and repair of equipment.*

**Key words:** food industry, equipment, efficiency of equipment use, monitoring of performance indicators, exploitation.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Галия Бекеновна Абдилова\*** – техника ғылымдарының кандидаты, «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>.

**Жадра Ахметовна Сергибаева** – «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының PhD докторанты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті; e-mail: jadra1980@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1248-1304>.

**Болат Бейсенгалиевич Кабулов** – техника ғылымдарының кандидаты, «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті; e-mail: bolatkabylov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7619-2622>.

**Асыл Аргынгазыевна Баядилова** – «Технологиялық жабдықтар» кафедрасының PhD докторанты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті; e-mail: assylzhan\_88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5738-4498>.

**Борис Анатольевич Лобасенко** – техника ғылымдарының докторы, «Өндірістік дизайн» кафедрасының профессоры, ФГБОУ «Кемерово мемлекеттік университеті», Ресей Федерациясы, Кемерово қаласы; e-mail: lobasenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

### Сведения об авторах

**Галия Бекеновна Абдилова\*** – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Технологическое оборудование», Университет имени Шакарима города Семей; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>.

**Жадра Ахметовна Сергибаева** – PhD докторант кафедры «Технологическое оборудование», Университет имени Шакарима города Семей; e-mail: jadra1980@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1248-1304>.

**Болат Бейсенгалиевич Кабулов** – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Технологическое оборудование», Университет имени Шакарима города Семей; e-mail: bolatkabylov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7619-2622>.

**Асыл Аргынгазыевна Баядилова** – PhD докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», Университет имени Шакарима города Семей; e-mail: assylzhan\_88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5738-4498>.

**Борис Анатольевич Лобасенко** – доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленный дизайн», ФГБОУ ВО «Кемеровский Государственный университет» (КемГУ), 650000, Россия, г. Кемерово; e-mail: lobasenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

### Information about of authors

**Galia Abdilova\*** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the The Department of technological equipment, Shakarim Semey University; e-mail: abdilova1979@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>.

**Zhadra Sergibaeva** – PhD student of the The Department of technological equipment, Shakarim Semey University; e-mail: jadra1980@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1248-1304>.

**Bolat Kabulov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the The Department of technological equipment, Shakarim Semey University; e-mail: bolatkabylov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7619-2622>.

**Asyl Bayadilova** – PhD student of the The Department of technological equipment, Shakarim Semey University; e-mail: assylzhan\_88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5738-4498>.

**Boris Lobasenko** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Industrial Design, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia; e-mail: lobasenko@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-7904>.

Редакцияға енуі 04.07.2024

Өңдеуден кейін түсуі 09.09.2024

Жариялауға қабылданды 10.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-10](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-10)



МРНТИ: 53.31.73



**Р.К. Кусаинов<sup>2</sup>, Н.Е. Қадырболат<sup>†</sup>, Р.Х. Курмангалиев<sup>1,2</sup>, К.Д. Орманбеков<sup>1,2</sup>,  
А.Б. Шынарбек<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А  
Инжиниринговый центр «Упрочняющие технологии и покрытия»,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Физкультурная, 4в  
\*e-mail: ersinnur44@gmail.com

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИНЫ ИЗ СТАЛИ 45

**Аннотация:** В данном исследовании изучалось влияние электролитно-плазменной закалки (ЭПЗ) на свойства стали марки 45, которая может служить альтернативой традиционным методам термообработки, применяемым перед выпуском готовой продукции. По результатам проведённых экспериментов установлено, что механические и эксплуатационные свойства стали 45 существенно улучшились после применения ЭПЗ. Сталь 45, широко используемая в машиностроении и производстве сельскохозяйственной техники благодаря своим прочностным характеристикам и долговечности, показала значительное увеличение показателей после обработки. Можно заметить, что свойства стали 45 значительно улучшились после применения методов электролитно-плазменной закалки, так как твёрдость образцов увеличилась в 3,1-3,62 раза, а износостойкость возросла в 7 раз. Кроме того, в работе показана экономическая эффективность предложенного метода обработки, который показал, что внедрение ЭПЗ может

*привести к значительному снижению затрат на материалы, увеличению срока службы продукции и улучшению экологических показателей производства за счёт сокращения энергетических затрат и выбросов. Использование нетоксичного 20-% раствора карбоната натрия при ЭПЗ способствует равномерному распределению электрического тока в ячейке, а также позволило добиться оптимальной скорости охлаждения образца.*

**Ключевые слова:** электролитно-плазменная закалка (ЭПЗ), микротвердость, износ, сталь 45, электролит.

## **Введение**

В настоящее время на машиностроительных производствах из-за недостатка качественных инструментов, их быстрого износа, а также воздействия множества факторов, таких как коррозия и неудовлетворительные механические свойства, наблюдаются значительные экономические убытки. Традиционные методы термообработки, хотя и эффективны, могут быть энергоёмкими и менее экологичными. В процессе термической обработки часто возникают технические сложности и побочные нежелательные эффекты, которые зачастую препятствуют обеспечению надлежащего качества и надёжности деталей из закаленной стали. К таким недостаткам можно отнести большой расход энергии в случае индукционной закалки, а также потеря энергии в катушке, при обычной закалке в печи это относительно низкая твердость на выходе, а также сложности при закалке габаритных изделий и т.д. Большинство инструментов для машин изготавливаются из стали, и среди них сталь 45 благодаря своим оптимальным механическим свойствам и относительной дешевизне широко применяется в различных отраслях промышленности, особенно в машиностроении, где требуется высокая износостойкость и долговечность. Поэтому для достижения этих характеристик, необходимы современные эффективные методы обработки, позволяющие нивелировать недостатки традиционных способов обработки. К числу таких относится ЭПЗ, позволяющая адаптировать свойства стали под специфические условия эксплуатации и повышенные нагрузки [1].

Электролитно-плазменная закалка (ЭПЗ) представляет собой инновационную технологию, позволяющую значительно улучшить механические свойства стали за счет применения концентрированного потока тепла электролитной плазмы и быстрого охлаждения в том же электролите после нагрева. При ЭПЗ плазма, генерируемая в электролитном растворе солей или кислот, воздействуя на поверхность обрабатываемой детали, формирует закаленную зону. Данная поверхностная закаленная зона имеет мелкозернистую мартенситную микроструктуру, и поверхность детали приобретает улучшенные механические характеристики, такие как повышенная твердость, износостойкость и коррозионная стойкость. Эти улучшения способствуют увеличению срока службы деталей и инструментов из стали 45 и снижению эксплуатационных затрат. Учитывая имеющиеся проблемы в машиностроительной отрасли, связанные с современными требованиями к энергосберегающему и экологически безопасному оборудованию, замещение традиционных методов закалки новыми методами, такими как ЭПЗ, в производстве, является одной из наиболее актуальных задач [2].

Целью данной статьи является систематическое исследование влияния электролитно-плазменного упрочнения на структуру и механические свойства стали марки 45. Таким образом, данное исследование способствует более глубокому пониманию механизмов, лежащих в основе этого процесса, а также позволяет оценить его эффективность и применимость в различных областях машиностроительной промышленности.

## **Материалы и методы**

Электролитно-плазменное упрочнение образцов из стали 45, а также их последующее исследование проводилось в Инжиниринговом центре «Упрочняющие технологии и покрытия» города Семей, Казахстан. Для проведения ЭПЗ использовалась специальная установка, предназначенная для нагрева локальных зон крупногабаритных изделий. Установка представляет собой комплекс, включающий источник питания и электролитную ячейку, которые встроены в химический шкаф. Источник питания мощностью 50 кВт обеспечивает подачу постоянного положительного напряжения до 380 В и ток до 150А в зависимости от нагрузки. Управление источником питания осуществляется с помощью цифрового модуля, который также имеет интерфейс для подключения к персональному компьютеру через СОМ-порт, что позволяет точно контролировать параметры процесса [3].



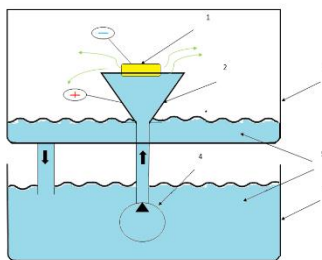


Рисунок 1 – Внешний вид и принципиальная схема установки ЭПУ:  
 1 – заготовка (образец); 2 – конусный электролизер из нержавеющей стали;  
 3 – отстойник; 4 – насос; 5 – электролит; 6 – электролитная ванна

Для установления оптимального режима электролитно-плазменного упрочнения (ЭПУ) были подготовлены образцы из стали марки 45 размером 15x15x15 мм и отшлифованы вручную последовательно на наждачной бумаге с зернистостью от P100 до P2500, которые подвергались стандартной термической обработке в определённых температурных режимах: закалка при 880-900°C и отпуск при 600-650°C. Затем уже дополнительно применялась электролитно-плазменная закалка при температуре около 850°C в течение 8 секунд и при температуре около 1200°C в течение 8 секунд. Эти различные методы термической обработки позволили сравнить и оценить влияние каждого из них на механические свойства стали 45 [4].

Для более детального анализа электролитно-плазменной закалки использовались одинаковые составы электролитов и разные режимы обработки, представленные в таблице 1, что позволило оценить влияние этих параметров на свойства стали 45.

Таблица 1 – Параметры режимов ЭПУ стали 45

Образец	Площадь конуса	Содержание электролита	U, В	t, с	I, А
№ 1	0,05м <sup>2</sup>	20% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +80% Вода	280	7	50
№ 2	0,05м <sup>2</sup>	20% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +80% Вода	270	8	50

Электролит (раствор карбоната натрия в дистиллированной воде) циркулирует в электролитической ячейке благодаря электродвигателю с расходом 60 л/мин, обеспечивая равномерное обмывание анода, который находится внутри ячейки. Через верхнее отверстие ячейки электролит возвращается в отстойник, проходя при этом вблизи поверхности закаливаемой детали (катода), установленной на регулируемом расстоянии. При подаче электрического напряжения между анодом и катодом ионы электролита, такие как H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, начинают упорядоченно двигаться, что приводит к быстрому нагреву катода и прилегающего слоя электролита, создавая парогазовую оболочку [5]. В результате ионизированные пары электролита формируют среду, в которой возникают электрические разряды между электролитом и катодом, и температура образца постепенно повышается.

Для оценки стойкости к абразивному изнашиванию образцов после электроплазменной обработки использовался метод абразивного износа на экспериментальной установке. Эксперимент проводился на специальном стенде по схеме «вращающийся ролик – плоская поверхность», при трении образцов о не жестко закрепленные частицы абразива, подаваемые со скоростью 41-42 г/мин (в соответствии с ГОСТ 23.208-79). Цилиндрический ролик из резины, прижатый к поверхности исследуемого образца с силой 22 Н, вращался с частотой 1 Гц. В качестве абразивного материала использовался электрокорунд с зернистостью 250 мкм. Образцы предварительно проходили шлифовку и полировку [6].

Измерение микротвердости образцов в исходном состоянии, а также после закалки проводили на микро-твердомере по Виккерсу HV-1 DT, при нагрузках на индентор P=1 Н и времени выдержки под нагрузкой t = 10 с для всех образцов.

Для исследования микроструктуры образцов был применен металлографический микроскоп Altami 5C (РФ) с возможностью регулировки освещения. Перед изучением микроструктуры образцы прошли полировку и травление 44% раствором HNO<sub>3</sub> в спирте [10].

## Результаты и обсуждения

### Влияние параметров электролитно-плазменной закалки на твердость стали 45

Если исходная микротвердость стали 45 составляла 200 HV, то в результате проведенных экспериментов её увеличение достигло 3,1-3,6 раза, что указывает на значительные изменения в структуре материала. Это увеличение свидетельствует о глубоких микроструктурных преобразованиях, вызванных термомеханическими эффектами электролитно-плазменной закалки. Дальнейшее увеличение твердости приводит к фазовым изменениям, которые могут быть зафиксированы с помощью оптической микроскопии и металлографического анализа. В частности, повышение твердости означает переход от ферритно-перлитной к мартенситной фазе, что подтверждается изменением микротвердости и увеличением плотности дефектов кристаллической решетки. Эти изменения могут свидетельствовать о повышенной дислокационной активности и формировании более устойчивой к внешним воздействиям фазы [3].

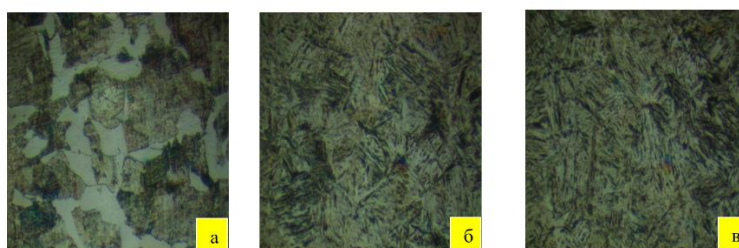


Рисунок 2 – Оптические микрофотографии стали 45: а) до; б, в) после ЭПУ

На рисунке 3 представлена зависимость микротвердости стали 45 от времени воздействия электролитной плазмы. Микротвердость стали 45 в исходном состоянии составляет 200 HV. Установлено, что после электролитно-плазменной поверхностной закалки (ЭППЗ) при времени нагрева 7 секунд микротвердость стали 45 возрастает в 3,1 раза по сравнению с исходным состоянием, достигая значения около 635 HV. На рисунке 3 можно наблюдать что после 8-секундной электролитно-плазменной закалки твердость увеличилась примерно в 3,62 раза, достигнув значения 724 HV. Это свидетельствует о значительном повышении механических свойств материала под воздействием данной обработки, аналогично тому, как при интенсивном закаливании металл приобретает значительно большую прочность. На рисунке 5 показана микроструктура поверхности образцов после ЭППЗ. Микроструктуры на рисунках 4а и 4б соответствуют фазе с присутствием мартенситных включений, а на рисунках 4в и 4г изображены фазы с преобладанием перлитно-ферритной структуры.

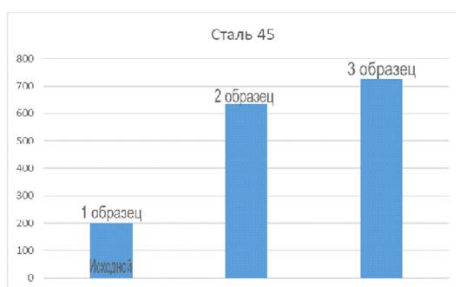


Рисунок 3 – Сравнение микротвердости исходного и закаленных образцов из стали 45

На рисунке 4 представлена микроструктура поперечного сечения образца № 2 из стали 45 после электролитно-плазменной закалки. Толщина модифицированного слоя составляет около 500-550 мкм. Представленную на рисунке 4 микроструктуру можно разделить на три характерные зоны: 1 – зона интенсивных структурных превращений (закаленный слой); 2 – зона термического влияния; 3 – зона исходной матрицы [7]. В переходной зоне наблюдается более мелкозернистая структура, характерная для зоны термического влияния, по сравнению с крупнозернистой структурой исходной матрицы [9].

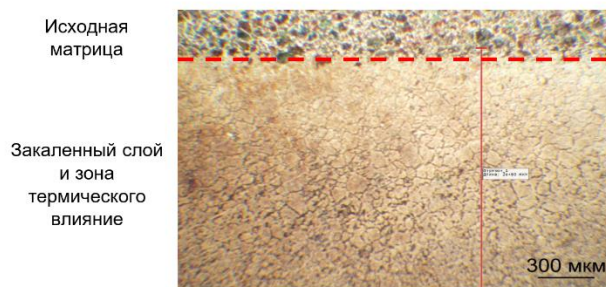


Рисунок 4 – Образованные зоны микроструктуры после ЭПЗ на поперечном срезе образца № 2 из стали 45

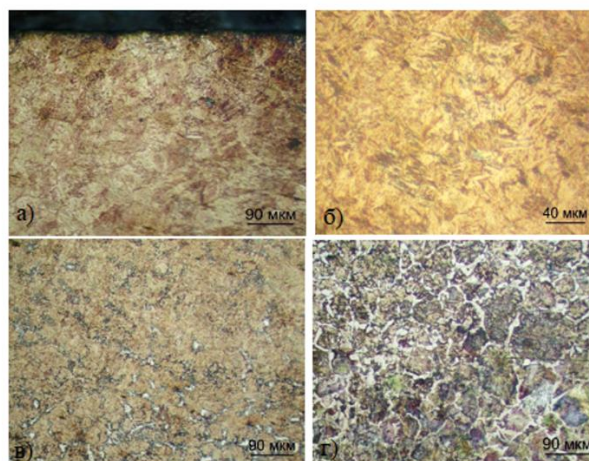


Рисунок 5 – Микроструктура поверхности образцов из стали 45 после ЭПЗ

По результатам проведенных экспериментов было выявлено значительное увеличение износостойкости образцов, подвергнутых электролитно-плазменному упрочнению, в сравнении с исходными образцами. Упрочненные образцы продемонстрировали уменьшение объема износа. Здесь прослеживается следующая закономерность: чем выше твердость стали, тем выше износостойкость [8]. Здесь имеет значение размер зерен после процесса ЭПЗ, чем меньше размер зерна, тем выше способность противостоять к абразивному изнашиванию. Данное улучшение износостойкости говорит о потенциале данного метода для повышения надежности и долговечности материалов, особенно в условиях высоких механических и абразивных нагрузок. Как видно из рисунка 6, наименьший уровень приведенного износа зафиксирован у образцов № 2 и № 3, которые подвергались закалке в течение 7 и 8 секунд, соответственно. Значения составили  $1,22 \times 10^{-7}$  и  $1,16 \times 10^{-7}$  мм<sup>3</sup>/(м·Н), что указывает на улучшение износостойкости в 7 раз по сравнению с исходным образцом, у которого износ составил  $8,41 \times 10^{-7}$  мм<sup>3</sup>/(м·Н).

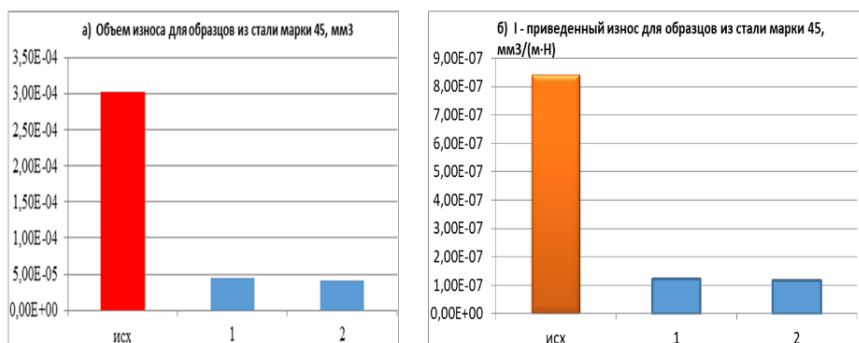


Рисунок 6 – результат измерения объема износа образцов до и после ЭПЗ: а) объем износа и б) приведенный износ

Причинами увеличения износостойкости являются формирование более прочной и устойчивой поверхностной структуры, а также улучшение механических свойств материала в связи с уменьшением зернистости. Плазменный поток и электролитические реакции способствуют формированию твердых растворов и дисперсионных частиц на поверхности стали, что увеличивает ее твердость и устойчивость к износу [11].

### **Заключение**

Анализируя результаты экспериментальных исследований по модификации поверхностных слоев стали 45 с использованием электролитно-плазменной закалки (ЭПЗ), можно сделать ряд важных выводов:

Разработана методика и определены идеальные условия для упрочнения поверхности стали 45 в электролитной плазме, позволяющие создать модифицированный слой с толщиной приблизительно 500–550 микрон, обладающий улучшенными рабочими характеристиками. Обнаружено, что морфологическая структура стали 45 после ЭПЗ характеризуется мартенситными зернами. Выявлено, что структура поперечного сечения обработанной стали 45 демонстрирует зональное разделение: закаленный слой с мартенситной структурой, ниже располагается слой термического воздействия, за которым следует основная матрица металла [12]. В результате применения электролитно-плазменного упрочнения для улучшения свойств деталей машиностроения из стали 45 были получены следующие ключевые результаты: После процесса ЭПЗ поверхности образца стали 45 заметно увеличились такие характеристики как твердость (в 3,1-3,6 раза по сравнению с исходным материалом) и устойчивость к износу значительно возросли (уменьшение объема износа в 7 раз по сравнению с исходным материалом). Полученные результаты в совокупности с быстрым протеканием закалки (7-8 секунд) демонстрируют высокую эффективность и ресурсосбережение процесса ЭПЗ. Отмечается, что с увеличением твердости материала наблюдается соответствующее повышение его износостойкости. Применение же водного раствора карбоната натрия, который не является токсичным, говорит об экологичности процесса ЭПЗ для применения его в массовом производстве деталей машиностроения. Эти улучшения подтверждают потенциал электролитно-плазменной закалки как инновационного и экономически выгодного метода обработки, способствующего увеличению ресурса металлических изделий и их долговечности в эксплуатационных условиях, что особенно важно для отраслей с высокими требованиями к материалам.

### **Список литературы**

1. Куликов И. Электролитно-плазменная обработка материалов / И.С. Куликов, С.В. Ващенко, А.Я. Каменев; Национальная академия наук Беларуси; Объединенный институт энергетических и ядерных исследований «Сосны». – Минск: Беларуская навука, 2010. – 231 с.
2. Модификация поверхности стали 30ХГСА с применением электролитно-плазменного термоциклического упрочнения / Б.К. Рахадиллов и др. // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка. – 2022. – С. 610-616.
3. Rakhadilov B. et al. The impact of technological parameters of electrolytic-plasma treatment on the changes in the mechano-tribological properties of steel 45 //AIMS Materials Science. – 2024. – Т. 11. – №. 4. – С. 666-683.
4. Рахадиллов Б.К. Исследование износостойкости поверхностного слоя стали 40Хн после электролитно-плазменного воздействия / Б.К. Рахадиллов, Ж.Б. Сагдолдина, А.Б. Кенесбеков // Научно-технический задел – основа эффективного инновационного развития. – 2018. – С. 48.
5. Скаков М.К. Моделирование формирования парогазовой оболочки в процессах катодного нагрева конструкционных сталей / М.К. Скаков, Л.Г. Журерова, Л.А. Ерыгина // Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева. – 2013.
6. Структурное превращение в стали 20ГЛ после электролитно-плазменной поверхностной закалки / Б.К. Рахадиллов и др. // Вестник НЯЦ РК. – 2018. – № 3. – С. 99-102.
7. Морозов В.П. Влияние колебательного механизма кристаллизации на процесс измельчения первичной структуры металла шва и зоны термического влияния / В.П. Морозов // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2010. – № 09. – С. 1.

8. Чудина О.В. Конструкционные материалы для транспортных средств специального назначения: уч. пособие / О.В. Чудина, М.П. Малиновский. – М.: МАДИ, 2020. – 232 с.
9. Пат. RU 2002119410, МПК E04B 2/56. Конструкционные панели обшивки / Тоньян Т.Д. и др.; заявитель и патентообладатель Юнайтед Стейтс Джипсум Компани (US); заявл. 2001.11.16; опубл. 2004.02.20.
10. Кайратулы Ш. Влияние термической обработки на структуру и свойства отливок из стали 20ГМЛ: магистерская диссертация / Ш. Кайратулы; ТПУ, ИШНПТ, Отделение материаловедения (ОМ); науч. рук. И.Л. Стрелкова. – Томск, 2022.
11. Погребняк А.Д. Электролитно-плазменная технология для нанесения покрытий и обработки металлов и сплавов / А.Д. Погребняк, А.Ш. Каверина, М.К. Кылышканов // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2014. – Т. 50, № 1. – С. 72-88.
12. Мусихин С.А. Влияние химической неоднородности среднеуглеродистых низколегированных сталей на формирование структуры и комплекса свойств при термическом воздействии: дис. ... канд. тех. н.: 05.16.01. – Екатеринбург, 2015. – 24 с.

### References

1. Kulikov I. Ehlektrolitno-plazmennaya obrabotka materialov / I.S. Kulikov, S.V. Vashchenko, A.YA. Kamenev; Natsional'naya akademiya nauk Belarusi; Ob"edinennyy institut ehnergeticheskikh i yadernykh issledovaniy «SosnY». – Minsk: Belaruskaya navuka, 2010. – 231 s. (In Russian).
2. Modifikatsiya poverkhnosti stali 30KHGSA s primeneniem ehlektrolitno-plazmennogo termotsiklicheskogo uprochneniya / B.K. Rakhadilov i dr. // Novye materialy i tekhnologii: poroshkovaya metallurgiya, kompozitsionnye materialy, zashchitnye pokrytiya, svarka. – 2022. – S. 610-616. (In Russian).
3. Rakhadilov B. et al. The impact of technological parameters of electrolytic-plasma treatment on the changes in the mechano-tribological properties of steel 45 //AIMS Materials Science. – 2024. – Т. 11. – №. 4. – S. 666-683. (In English).
4. Rakhadilov B.K. Issledovanie iznosostoikosti poverkhnostnogo sloya stali 40khn posle ehlektrolitno-plazmennogo vozdeistviya / B.K. Rakhadilov, ZH.B. Sagdoldina, A.B. Kenesbekov // Nauchno-tehnicheskii zadel – osnova ehffektivnogo innovatsionnogo razvitiya. – 2018. – S. 48. (In Russian).
5. Skakov M.K. Modelirovanie formirovaniya parogazovoi obolochki v protsessakh katodnogo nagreva konstruktsionnykh stalei / M.K. Skakov, L.G. Zhurerova, L.A. Erygina // Vostochno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva. – 2013. (In Russian).
6. Strukturnoe prevrashchenie v stali 20GL posle ehlektrolitno-plazmennoi poverkhnostnoi zakalki / B.K. Rakhadilov i dr. // Vestnik NYATS RK. – 2018. – № 3. – S. 99-102. (In Russian).
7. Morozov V.P. Vliyanie kolebatel'nogo mekhanizma kristallizatsii na protsess izmel'cheniya pervichnoi struktury metalla shva i zony termicheskogo vliyaniya / V.P. Morozov // Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii. – 2010. – № 09. – S. 1. (In Russian).
8. Chudina O.V. Konstruktsionnye materialy dlya transportnykh sredstv spetsial'nogo naznacheniya: uch. posobie / O.V. Chudina, M.P. Malinovskii. – М.: МАДИ, 2020. – 232 s. (In Russian).
9. Пат. RU 2002119410, МПК E04B 2/56. Konstruktsionnye paneli obshivki / Ton'yan T.D. i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' Yunaited Steits Dzhipsum Kompani (US); zayavl. 2001.11.16; opubl. 2004.02.20. (In Russian).
10. Kairatuly SH. Vliyanie termicheskoi obrabotki na strukturu i svoistva otlivok iz stali 20GML: magisterskaya dissertatsiya / SH. Kairatuly; TPU, ISHNPT, Otdelenie materialovedeniya (OM); nauch. ruk. I.L. Strelkova. – Tomsk, 2022. (In Russian). (In Russian).
11. Pogrebnyak A.D. Ehlektrolitno-plazmennaya tekhnologiya dlya nanoseniya pokrytii i obrabotki metallov i splavov / A.D. Pogrebnyak, A.SH. Kaverina, M.K. Kylyshkanov // Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov. – 2014. – Т. 50, № 1. – S. 72-88. (In Russian).
12. Musikhin S.A. Vliyanie khimicheskoi neodnorodnosti sredneuglerodistykh nizkolegirovannykh stalei na formirovanie struktury i kompleksa svoistv pri termicheskom vozdeistvii: dis. ... kand. tekhn. n.: 05.16.01. – Ekaterinburg, 2015. – 24 s. (In Russian).

## Информация о финансировании

Данное исследование было поддержано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP13068365).

Р.К. Кусаинов<sup>2</sup>, Н.Е. Қадырболат<sup>2</sup>, Р.Х. Курманғалиев<sup>1,2</sup>, К.Д. Орманбеков<sup>1,2</sup>,  
А.Б. Шынарбек<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

<sup>2</sup>«Қатайтатын технологиялар және жабындар» инжинирингтік орталығы  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., дене шынықтыру к-сі, 4в  
\*e-mail: ersinnur44@gmail.com

## ЭЛЕКТРОЛИТТИК-ПЛАЗМАЛЫҚ ҚАТАЙТУДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ 45 МАРКАЛЫ БОЛАТТАН ЖАСАЛҒАН МАШИНА БӨЛШЕКТЕРІНІҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЖАҚСARTУ

Бұл зерттеуде электролиттік-плазмалық шынықтырудың (ЭПШ) 45 болаттың қасиеттеріне әсері зерттелді, ол дайын өнімді шығарудың алдында қолданылатын дәстүрлі термиялық өңдеу әдістеріне балама бола алады. Жүргізілген эксперименттердің нәтижелері бойынша ЭПШ қолданғаннан кейін 45 болаттың механикалық және пайдалану қасиеттері айтарлықтай жақсарғаны анықталды. Машина жасау мен ауыл шаруашылығы техникасын өндіруде өзінің беріктігі мен ұзақ мерзімділігімен танымал 45 болат ЭПШ өңдеуден кейін көрсеткіштерін айтарлықтай арттырды. Атап айтқанда, электролиттік-плазмалық шынықтыру әдістерін қолданғаннан кейін 45 болаттың қасиеттері едәуір жақсарғаны байқалды, себебі үлгілердің қаттылығы 3,1-3,62 есеге артты, ал тозуға төзімділігі 7 есеге өсті. Сонымен қатар, зерттеуде ұсынылған өңдеу әдісінің экономикалық тиімділігі көрсетілді, ол ЭПШ-ті енгізу материалдарға шығындарды айтарлықтай азайтуға, өнімнің қызмет ету мерзімін ұзартуға және энергия шығындары мен шығарындыларды қысқарту есебінен өндірістің экологиялық көрсеткіштерін жақсартуға әкелуі мүмкін екенін дәлелдеді. ЭПШ кезінде 20%-дық натрий карбонатының улы емес ерітіндісін қолдану электр тогының ұяшықта біркелкі бөлінуіне ықпал етті, сонымен қатар үлгінің оңтайлы салқындау жылдамдығына қол жеткізуге мүмкіндік берді.

**Түйін сөздер:** электролиттік-плазмалық шынықтыру (ЭПШ), микроқаттылық, тозу, болат 45, электролит.

R. Kussainov<sup>2</sup>, N. Kadyrbolat<sup>2</sup>, R. Kurmangaliev<sup>1,2</sup>, K. Ormanbekov, A. Shynarbek .

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A  
<sup>2</sup>Engineering Center «Strengthening technologies and coatings»,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 4b Fizkulturnaya str.  
\*e-mail: ersinnur44@gmail.com

## APPLICATION OF ELECTROLYTIC PLASMA HARDENING FOR IMPROVING THE PROPERTIES OF MACHINE PARTS MADE OF STEEL 45

**Abstract:** This study examined the effect of electrolytic plasma hardening (EPH) on the properties of 45-grade steel, which can serve as an alternative to traditional heat treatment methods used before the release of finished products. The results of the experiments showed that the mechanical and operational properties of 45-grade steel significantly improved after the application of EPH. Steel 45, widely used in mechanical engineering and agricultural machinery production due to its strength characteristics and durability, demonstrated a significant increase in performance after treatment. It was observed that the properties of 45-grade steel improved considerably after applying electrolytic plasma hardening methods, with the hardness of the samples increasing by 3.1-3.62 times, and wear resistance improving by 7 times. Moreover, the study highlighted the economic efficiency of the proposed treatment method, showing that the introduction of EPH can lead to a significant reduction in material costs, extended product life, and improved environmental performance by reducing energy consumption and emissions. The use of a non-toxic 20% sodium carbonate solution in EPH contributed to the uniform distribution of electric current in the cell and allowed for achieving optimal cooling rates of the sample.

**Keywords:** electrolytic plasma hardening (EPH), microhardness, wear, 45-grade steel, electrolyte.

### Сведения об авторах

**Ринат Кенжеевич Кусаинов** – руководитель Инжинирингового центра «Упрочняющие технологии и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Нұрлат Ерболұлы Қадырболат\*** – студент специальности «Теплоэнергетика» Университета имени Шакарима города Семей, Казахстан; e-mail: ersinnur44@gmail.com.

**Ринат Хамитұлы Курманғалиев** – докторант специальности «Техническая физика»; НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан; e-mail: rinat\_real@rambler.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2209-6740>.

**Куаныш Даулетович Орманбеков** – докторант специальности «Механика и металлообработка»; НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан; младший научный сотрудник ИЦ «Упрочняющие технологии и покрытия»; e-mail: kuanysh.dauletson@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0001-0001-6099-2812>.

**Айбек Бакытжанович Шынарбек** – докторант специальности «Механика и металлообработка»; НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан; младший научный сотрудник ИЦ «Упрочняющие технологии и покрытия»; e-mail: shinarbekov16@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2877-5178>.

### Авторлар туралы мәлімет

**Ринат Кенжеұлы Құсаинов** – «Бекітуші технологиялар мен жабындар» инженерлік орталығының жетекшісі, Семей қаласы, Қазақстан; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Нұрлат Ерболұлы Қадырболат\*** – Семей қаласындағы Шәкәрім атындағы университетінің «Жылу энергетикасы» мамандығының студенті, Қазақстан; e-mail: ersinnur44@gmail.com.

**Ринат Хамитұлы Құрманғалиев** – «Техникалық физика» мамандығының докторанты, Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: rinat\_real@rambler.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2209-6740>.

**Куаныш Дәулетұлы Орманбеков** – «Механика және металл өңдеу» мамандығының докторанты, Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Бекітуші технологиялар мен жабындар» инженерлік орталығының кіші ғылыми қызметкері; e-mail: kuanysh.dauletson@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0001-0001-6099-2812>.

**Айбек Бакытжанұлы Шынарбек** – «Механика және металл өңдеу» мамандығының докторанты, Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Бекітуші технологиялар мен жабындар» инженерлік орталығының кіші ғылыми қызметкері; e-mail: shinarbekov16@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2877-5178>.

### Information about the authors

**Rinat Kenzheevich Kussainov** – Head of the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», Semey, Kazakhstan; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Nurlat Erboluly Kadyrbolat\*** – student of «Heat power engineering» Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: ersinnur44@gmail.com.

**Rinat Khamituly Kurmangaliyev** – PhD student in «Technical Physics»; Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: rinat\_real@rambler.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2209-6740>.

**Kuanysh Dauletuly Ormanbekov** – PhD student in «Mechanics and Metalworking»; Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan; Junior Researcher at the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings»; e-mail: kuanysh.dauletson@gmail.com ORCID:<https://orcid.org/0001-0001-6099-2812>.

**Aibek Bakytzhanovich Shynarbek** – PhD student in «Mechanics and Metalworking»; Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan; Junior Researcher at the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings»; e-mail: shinarbekov16@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2877-5178>.

*Поступила в редакцию 11.09.2024*

*Поступила после доработки 12.09.2024*

*Принята к публикации 13.09.2024*

**Н. Серікбекұлы<sup>1,2\*</sup>, К.Д. Орманбеков<sup>1,2</sup>, А.Б. Шынарбек<sup>1,2</sup>, А.Ж. Жасулан<sup>1,2</sup>,  
Б.А. Лобасенко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Научный центр «Модификация поверхности материалов»  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Физкультурная, 4в

<sup>3</sup>Кемеровский государственный университет,  
650000, Россия, Кемерово, ул. Красная, д.6

\*e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ АВИАЦИОННЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

**Аннотация:** В данной статье рассмотрены перспективы применения технологии микродугового оксидирования (МДО) в авиационной и автомобильной промышленности. Процесс МДО позволяет создавать прочные, износостойкие и коррозионностойкие покрытия на поверхности металлических деталей, что значительно повышает их долговечность и эксплуатационные характеристики. Обсуждаются технологические аспекты МДО, включая особенности подготовки поверхности, выбор электролитов и контроль параметров процесса. Приводятся примеры успешного применения МДО в производстве авиационных и автомобильных компонентов. Также исследуются направления для дальнейших исследований и развития технологии, включая создание новых материалов, комбинированных покрытий и изучение долговечности покрытий в реальных условиях эксплуатации. Статья подчеркивает важность МДО как перспективной технологии для улучшения надежности и эффективности транспортных средств и оборудования.

**Ключевые слова:** микродуговое оксидирование, авиационная промышленность, автомобильная промышленность, износостойкость, коррозионная стойкость, защитные покрытия, комбинированные покрытия.

### **Введение**

Авиационное и автомобильное машиностроение занимают ключевые позиции в мировой экономике, являясь основными двигателями технического прогресса и индустриального развития. Авиационная промышленность отвечает за создание воздушных судов, которые обеспечивают глобальную мобильность, связывая континенты и страны. Автомобильная отрасль, в свою очередь, играет не меньшую роль, удовлетворяя потребности общества в наземных транспортных средствах, от личных автомобилей до грузовиков и автобусов [1-3].

Эти отрасли предъявляют крайне высокие требования к материалам и технологиям, используемым при производстве компонентов. Детали и узлы должны обладать исключительной прочностью, легкостью, коррозионной стойкостью, а также долговечностью при эксплуатации в жестких условиях. Это особенно важно для авиационной промышленности, где даже малейшие дефекты могут привести к катастрофическим последствиям.

Микродуговое оксидирование (МДО) представляет собой инновационную технологию формирования оксидных покрытий на поверхности металлов и сплавов. Этот процесс осуществляется при погружении деталей в электролит и подаче высокого напряжения, что приводит к образованию плазменных разрядов на поверхности материала. В результате, образуется плотное, твердо сцепленное оксидное покрытие, обладающее высокой коррозионной стойкостью, износостойкостью и отличной адгезией к подложке [4-5].

Одним из ключевых преимуществ МДО является возможность создания покрытий с уникальными свойствами, которые трудно достичь с помощью традиционных методов, таких как анодирование или гальваническое покрытие. Это делает МДО особенно перспективным



для применения в производстве компонентов, где критически важны надежность и долговечность, как в авиации и автомобилестроении [6].

**Цель данной статьи** – исследовать перспективы применения микродугового оксидирования в производстве авиационных и автомобильных компонентов, обсудить преимущества данной технологии и рассмотреть возможные направления для ее дальнейшего развития и внедрения.

Авиационная и автомобильная промышленность предъявляют высочайшие требования к материалам и технологиям производства. В авиации, например, каждая деталь, начиная от фюзеляжа и заканчивая системами управления, должна соответствовать жестким стандартам безопасности, прочности и долговечности. В условиях высокой эксплуатационной нагрузки, перепадов температур и давления, а также воздействия агрессивных сред, материалы должны обеспечивать надежность на протяжении всего срока службы летательного аппарата [1-3].

Автомобильная промышленность также сталкивается с вызовами, связанными с необходимостью создания более легких и экономичных транспортных средств, которые соответствуют строгим экологическим нормам. Для достижения этих целей требуется использовать материалы, сочетающие высокую прочность с малым весом, а также устойчивостью к коррозии и износу. Помимо этого, автомобильные детали должны выдерживать воздействие дорожных реагентов, вибраций, высокой температуры и других факторов, влияющих на эксплуатационные характеристики.

Для защиты компонентов от коррозии, износа и других неблагоприятных факторов традиционно используются различные методы нанесения покрытий. Среди наиболее распространенных методов можно выделить:

**Гальваническое покрытие:** Один из наиболее широко применяемых методов, при котором на поверхность металла наносится слой другого металла, обладающего высокой коррозионной стойкостью. Однако гальванические покрытия часто подвержены растрескиванию и отслаиванию при механических нагрузках, что ограничивает их долговечность [7].

**Анодирование:** Этот метод применяется для создания оксидных слоев на поверхности алюминиевых сплавов и других металлов. Анодированные покрытия обладают хорошей коррозионной стойкостью, но их износостойкость и механическая прочность зачастую оставляют желать лучшего, особенно при использовании в экстремальных условиях [8-9].

**Термораспыление:** При этом методе материалы в расплавленном виде распыляются на поверхность детали, образуя защитное покрытие. Термораспыление позволяет создавать покрытия с высокими эксплуатационными характеристиками, но процесс требует сложного оборудования и контроля параметров, что увеличивает себестоимость и сложность производства [10-11].

Каждый из этих методов имеет свои ограничения, которые становятся критическими в условиях эксплуатации авиационных и автомобильных компонентов. Например, гальванические покрытия могут недостаточно хорошо защищать от коррозии в агрессивных средах, а анодированные покрытия не всегда обладают достаточной износостойкостью. Это создает необходимость в поиске новых технологий, способных обеспечить более высокую надежность и долговечность деталей.

В условиях жестких требований к материалам и ограничениям традиционных методов нанесения покрытий, существует потребность в инновационных решениях, которые могут обеспечить более высокую степень защиты и долговечности авиационных и автомобильных компонентов. Микродуговое оксидирование (МДО) представляет собой одну из таких перспективных технологий, способных удовлетворить эти требования и предложить новые возможности для развития этих отраслей.

Одним из ключевых преимуществ микродугового оксидирования (МДО) является способность значительно повышать износостойкость и коррозионную стойкость обрабатываемых деталей. Процесс МДО создает на поверхности металла прочное керамическое покрытие, которое обладает высокой твердостью и устойчивостью к механическим воздействиям. Это особенно важно для деталей, которые подвергаются постоянным нагрузкам, трению и абразивному износу, например, в двигателях, тормозных системах и других критических узлах транспортных средств [4-5].

Кроме того, покрытия, полученные методом МДО, обеспечивают эффективную защиту от коррозии даже в агрессивных средах, таких как соляной туман, кислоты или щелочи. Это свойство крайне ценно в авиационной промышленности, где детали подвергаются воздействию атмосферных условий на большой высоте, а также в автомобильной отрасли, где они сталкиваются с дорожными реагентами и высокими температурами.

Еще одним важным преимуществом МДО является возможность создания легких, но при этом чрезвычайно прочных покрытий. Традиционные методы нанесения защитных слоев, такие как гальваническое покрытие или термораспыление, часто приводят к увеличению массы детали, что особенно критично в авиации, где каждый грамм на счету. МДО позволяет формировать покрытия с оптимальным соотношением массы и прочности, что способствует снижению общего веса конструкции без ущерба для ее эксплуатационных характеристик [4-5].

Легкость покрытий, полученных методом МДО, в сочетании с их высокой прочностью открывает новые возможности для использования более легких сплавов, таких как алюминий и титан, в критически важных узлах и деталях. Это особенно актуально для создания современных, энергоэффективных транспортных средств, где требуется минимизировать вес при сохранении высокой прочности и надежности.

Хотя основное применение МДО в авиации и автомобилестроении связано с улучшением механических и антикоррозионных свойств деталей, данная технология также может способствовать повышению биосовместимости материалов. Это может быть полезно для создания элементов управления и других компонентов, с которыми контактируют люди, например, ручек, рычагов и кнопок.

Керамические покрытия, полученные методом МДО, обладают антибактериальными свойствами и не вызывают аллергических реакций, что делает их безопасными для использования в условиях, требующих повышенной гигиены. В автомобильной промышленности, например, такие покрытия могут быть применены для создания компонентов салона, которые контактируют с кожей водителя и пассажиров [12-13].

Микродуговое оксидирование представляет собой мощный инструмент для решения многих задач, стоящих перед авиационной и автомобильной промышленностью. Улучшенная износостойкость, коррозионная стойкость, легкость и биосовместимость покрытий, полученных методом МДО, делают эту технологию привлекательным вариантом для повышения долговечности и надежности деталей, а также для создания новых, более легких и прочных конструкций.

Процесс микродугового оксидирования (МДО) включает в себя несколько этапов, которые критически важны для обеспечения качественного покрытия, соответствующего строгим требованиям авиационной и автомобильной промышленности. Основные этапы процесса включают [14-16].

**Подготовка поверхности:** Перед началом процесса МДО поверхность детали тщательно очищается от загрязнений, оксидов и остатков смазочных материалов. Это обеспечивает хорошую адгезию покрытия и предотвращает дефекты в ходе оксидирования. В некоторых случаях поверхность может быть предварительно обработана механически или химически для улучшения качества покрытия.

**Выбор электролита:** Один из ключевых факторов, влияющих на свойства покрытия, – это состав электролита. Для разных типов деталей и материалов могут использоваться различные электролиты на основе силикатов, фосфатов, алюминатов и других соединений. Подбор правильного состава электролита позволяет получить покрытия с оптимальными характеристиками, такими как твердость, плотность и толщина.

**Контроль параметров процесса:** Во время МДО важно поддерживать оптимальные параметры процесса, такие как напряжение, плотность тока, температура электролита и время обработки. Эти параметры влияют на толщину, пористость и структуру покрытия. В авиации и автомобилестроении часто требуется достижение определенной комбинации свойств, поэтому контроль этих параметров является критически важным для обеспечения стабильного качества покрытия.

**Послеокислительная обработка:** В некоторых случаях после окончания процесса МДО может потребоваться дополнительная обработка поверхности, например, пропитка покрытия специальными составами для улучшения коррозионной стойкости или повышения

гидрофобности. Это позволяет адаптировать покрытие к специфическим условиям эксплуатации.

Применение МДО в производстве авиационных и автомобильных деталей уже демонстрирует ряд успешных примеров:

**Авиакосмическая промышленность:** В авиации МДО применяется для защиты алюминиевых и магниевых сплавов, используемых в конструкции фюзеляжей, шасси и других критически важных узлов. Например, компании Airbus и Boeing исследуют и внедряют МДО для повышения долговечности и коррозионной стойкости своих воздушных судов.

**Автомобильная промышленность:** В автомобилестроении МДО активно используется для обработки алюминиевых деталей двигателей, элементов подвески и других узлов, которые подвергаются высокой нагрузке и воздействию агрессивных сред. Это позволяет увеличить срок службы компонентов и снизить расходы на обслуживание.

Кроме того, некоторые автопроизводители используют МДО для обработки деталей салона, таких как ручки и кнопки, чтобы повысить их долговечность и улучшить эстетические качества.

Применение МДО в производстве авиационных и автомобильных компонентов позволяет достичь нескольких ключевых технических и экономических преимуществ [17-18].

**Снижение веса конструкции:** Легкие покрытия, полученные методом МДО, способствуют снижению массы деталей, что особенно важно для авиации, где каждый грамм имеет значение для топливной эффективности.

**Увеличение долговечности деталей:** Покрытия, обладающие высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью, значительно увеличивают срок службы деталей, что снижает затраты на их замену и ремонт.

**Экономия на материалах:** Использование МДО позволяет применять более дешевые материалы, такие как алюминий, вместо более дорогих и тяжелых, таких как сталь или титан, без ущерба для прочности и долговечности.

Технология микродугового оксидирования представляет собой комплексный процесс, требующий точного контроля всех этапов производства для достижения оптимальных характеристик покрытия. Успешное применение МДО в авиационной и автомобильной промышленности подтверждает ее эффективность в улучшении эксплуатационных характеристик и снижении затрат на производство и обслуживание деталей. Это делает МДО важным инструментом для современных инженеров и производителей.

Одной из главных перспективных областей для микродугового оксидирования (МДО) является разработка новых материалов и покрытий, которые могут еще больше расширить возможности данной технологии. Современные исследования направлены на создание покрытий с улучшенными характеристиками, такими как [4-6]:

**Увеличенная твердость и износостойкость:** Исследуются новые составы электролитов и методы их модификации для получения более твердых покрытий, которые будут обладать еще большей устойчивостью к механическим повреждениям и износу.

**Комбинированные покрытия:** Рассматривается возможность комбинирования МДО с другими технологиями, такими как плазменное напыление или химическое осаждение, для создания многослойных покрытий с уникальными свойствами. Это может быть полезно для повышения коррозионной стойкости, термостойкости и других характеристик.

**Управляемая пористость:** Поры в покрытиях, образующихся при МДО, могут использоваться для пропитки различными веществами, такими как смазочные материалы или антикоррозионные составы. Управление пористостью покрытия открывает возможности для создания адаптивных поверхностей, которые могут изменять свои свойства в зависимости от условий эксплуатации.

Технология МДО уже доказала свою эффективность в авиации и автомобилестроении, но потенциал ее применения еще далеко не исчерпан. В будущем возможно расширение использования МДО на другие типы деталей и компонентов, а также на другие отрасли промышленности, такие как:

**Энергетика:** Использование МДО для обработки деталей турбин, теплообменников и других элементов энергетического оборудования, что может повысить их долговечность и устойчивость к агрессивным средам.

**Медицинская техника:** Применение МДО для создания биосовместимых и антимикробных покрытий на медицинских инструментах и имплантатах. Это может значительно улучшить их эксплуатационные характеристики и снизить риск инфекций.

Строительная индустрия: Возможность использования МДО для защиты металлических конструкций, работающих в агрессивных условиях, таких как морская среда или химические производства.

Несмотря на значительные успехи, для полного освоения потенциала МДО требуется проведение дополнительных исследований, направленных на изучение долговечности и безопасности покрытий в реальных условиях эксплуатации. Важными направлениями исследований являются:

Долгосрочные испытания: Необходимо проведение длительных испытаний покрытий, полученных методом МДО, в условиях, имитирующих реальные эксплуатационные нагрузки, включая воздействие высоких и низких температур, влажности, механических нагрузок и химически агрессивных сред.

Анализ усталостной прочности: Исследования должны быть сосредоточены на понимании, как покрытия, полученные методом МДО, влияют на усталостную прочность материалов, особенно в авиации и автомобилестроении, где детали подвергаются многократным циклическим нагрузкам.

Оценка экологических последствий: Важно изучить возможные экологические последствия применения МДО, включая оценку воздействия использованных химических реагентов и утилизации отходов, образующихся в процессе производства.

Перспективы развития технологии микродугового оксидирования открывают новые горизонты для ее применения в различных отраслях промышленности. Дальнейшие исследования в области материаловедения, разработки комбинированных покрытий и изучения долговечности и безопасности покрытий позволят еще больше повысить эффективность и расширить области применения МДО. Это делает технологию МДО не только актуальной на сегодняшний день, но и перспективной на будущее, что подчеркивает ее важность для инженерного и научного сообщества.

### **Заключение**

Микродуговое оксидирование (МДО) представляет собой инновационную технологию, которая способна значительно улучшить эксплуатационные характеристики авиационных и автомобильных компонентов. Благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокая износостойкость, коррозионная стойкость, легкость и возможность создания биосовместимых покрытий, МДО становится важным инструментом для решения множества задач, стоящих перед современными машиностроительными отраслями.

Введение МДО в производство авиационных и автомобильных деталей уже показало свою эффективность, но потенциал этой технологии гораздо шире. Существует множество направлений для дальнейших исследований и разработки новых материалов, которые могут еще больше улучшить характеристики покрытий и расширить их применение. Долговечность, устойчивость к агрессивным средам, возможность комбинирования с другими методами нанесения покрытий – все это открывает новые горизонты для развития как самой технологии МДО, так и соответствующих отраслей промышленности.

Заключая, можно утверждать, что микродуговое оксидирование имеет все шансы стать одной из ключевых технологий в производстве высокотехнологичных деталей для авиации и автомобилестроения. Важно продолжать исследовательскую работу в этой области, чтобы полностью раскрыть потенциал МДО и внедрить его в широкомасштабное производство. Только через дальнейшие исследования, испытания и инновации эта технология сможет максимально проявить свои преимущества, сделав транспортные средства и оборудование еще более надежными, долговечными и безопасными.

### **Список литературы**

1. Зиглер А.М., & Иванов, В.С. Современные тенденции развития мировой авиационной промышленности / А.М. Зиглер, В.С. Иванов // *Авиация и космонавтика*. – 2020. – № 3. – С. 45-56.
2. Петренко И.А. Перспективы и вызовы автомобильной промышленности в условиях глобализации / И.А. Петренко // *Машиностроение и инновации*. – 2019. – № 6(2). – С. 78-85.
3. Орлов Д.Н. Инновационные материалы и технологии в авиационном и автомобильном машиностроении / Д.Н. Орлов, Н.А. Власов // *Техника будущего*. – 2021. – № 12(4). – С. 22-34.
4. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И.В. Суминов и др. – Москва: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.

5. Применение микродугового оксидирования как перспективного метода нанесения покрытий / А.С. Казакова и др. // Сибирский государственный аэрокосмический университет, Красноярск, 2011. – Электронная библиотека КиберЛенинка.
6. Plasma electrolysis for surface engineering / A.L. Yerokhin et al // Surface and Coatings Technology. – 1999. – № 122. – P. 73-93.
7. Платов Н.И. Гальванические покрытия: Теория и практика / Н.И. Платов. – Москва: Техносфера, 2017. – 432 с.
8. Волков А.В. Анодирование алюминия и его сплавов: технология и применение / А.В. Волков. – Санкт-Петербург: Политехника, 2016. – 278 с.
9. Гаврилов В.И. Защитные покрытия на основе анодного оксидирования / В.И. Гаврилов. – Москва: Metallurgia, 2012. – 312 с.
10. Handbook of Thermal Spray Technology / J.R. Davis et al // ASM International. – 2004.
11. Pawlowski L. (2008). The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings. Wiley / L. Pawlowski. – 2008.
12. Yerokhin A. Plasma electrolysis for surface engineering / A. Yerokhin et al // Surface and Coatings Technology. – 1999. – № 122(2-3). – P. 73-93.
13. Aliofkhazraei M. Plasma Electrolytic Oxidation of Metals for Fabrication of Oxide Coatings: Mechanisms, Properties, and Applications / M. Aliofkhazraei, A.S. Rouhaghdam // Applied Surface Science. – 2016.
14. Review of the anodizing process of titanium and its alloys for biomedical applications: Techniques and surface properties / R.O. Hussein et al // Surface and Coatings Technology. – 2013. – № 233. – P. 147-158.
15. Aliofkhazraei M. Plasma Electrolytic Oxidation of Metals for Fabrication of Oxide Coatings: Mechanisms, Properties, and Applications / M. Aliofkhazraei, A.S. Rouhaghdam // Applied Surface Science. – 2016.
16. Real-time imaging of coating growth during plasma electrolytic oxidation / E. Matykina et al // Electrochimica Acta. – 2009. – № 54(27). – P. 6767-6777.
17. Aliofkhazraei M. Plasma Electrolytic Oxidation of Metals for Fabrication of Oxide Coatings: Mechanisms, Properties, and Applications / M. Aliofkhazraei, A.S. Rouhaghdam // Applied Surface Science. – 2016.
18. Prolonged growth of thick ceramic coatings by plasma electrolytic oxidation / E. Matykina et al // Thin Solid Films. – 2010. – № 518(15). – P. 4223-4230.

### References

1. Zigler A.M., & Ivanov, V.S. (2020). Sovremennye tendentsii razvitiya mirovoi aviatsionnoi promyshlennosti / A.M. Zigler, V.S. Ivanov // Aviatsiya i kosmonavtika. – 2020. – № 3. – S. 45-56. (In Russian).
2. Petrenko I.A. Perspektivy i vyzovy avtomobil'noi promyshlennosti v usloviyakh globalizatsii / I.A. Petrenko // Mashinostroyeniye i innovatsii. – 2019. – № 6(2). – S. 78-85. (In Russian).
3. Orlov D.N. Innovatsionnye materialy i tekhnologii v aviatsionnom i avtomobil'nom mashinostroyenii / D.N. Orlov, N.A. Vlasov // Tekhnika budushchego. – 2021. – № 12(4). – S. 22-34. (In Russian).
4. Mikrodugovoe oksidirovaniye (teoriya, tekhnologiya, oborudovaniye) / I.V. Suminov i dr. – Moskva: ENKOMET, 2005. – 368 s. (In Russian).
5. Primeneniye mikrodugovogo oksidirovaniya kak perspektivnogo metoda naneseniya pokrytii / A.S. Kazakova i dr. // Sibirskii gosudarstvennyi aehrokosmicheskii universitet, Krasnoyarsk, 2011. – Ehlektronnaya biblioteka KibeRLeninka. (In Russian).
6. Plasma electrolysis for surface engineering / A.L. Yerokhin et al // Surface and Coatings Technology. – 1999. – № 122. – R. 73-93. (In English).
7. Platov N.I. Gal'vanicheskie pokrytiya: Teoriya i praktika / N.I. Platov. – Moskva: Tekhnosfera, 2017. – 432 s. (In Russian).
8. Volkov A.V. Anodirovaniye alyuminiya i ego splavov: tekhnologiya i primeneniye / A.V. Volkov. – Sankt-Peterburg: Politekhnika, 2016. – 278 s. (In Russian).
9. Gavrilov V.I. Zashchitnye pokrytiya na osnove anodnogo oksidirovaniya / V.I. Gavrilov. – Moskva: Metallurgiya, 2012. – 312 s. (In Russian).
10. Handbook of Thermal Spray Technology / J.R. Davis et al // ASM International. – 2004. (In English).
11. Pawlowski L. (2008). The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings. Wiley / L. Pawlowski. – 2008. (In English).

12. Yerokhin A. Plasma electrolysis for surface engineering / A. Yerokhin et al // Surface and Coatings Technology. – 1999. – № 122(2-3). – R. 73-93. (In English).
13. Aliofkhazraei M. Plasma Electrolytic Oxidation of Metals for Fabrication of Oxide Coatings: Mechanisms, Properties, and Applications / M. Aliofkhazraei, A.S. Rouhaghdam // Applied Surface Science. – 2016. (In English).
14. Review of the anodizing process of titanium and its alloys for biomedical applications: Techniques and surface properties / R.O. Hussein et al // Surface and Coatings Technology. – 2013. – № 233. – R. 147-158. (In English).
15. Aliofkhazraei M. Plasma Electrolytic Oxidation of Metals for Fabrication of Oxide Coatings: Mechanisms, Properties, and Applications / M. Aliofkhazraei, A.S. Rouhaghdam // Applied Surface Science. – 2016. (In English).
16. Real-time imaging of coating growth during plasma electrolytic oxidation / E. Matykina et al // Electrochimica Acta. – 2009. – № 54(27). – R. 6767-6777. (In English).
17. Aliofkhazraei M. Plasma Electrolytic Oxidation of Metals for Fabrication of Oxide Coatings: Mechanisms, Properties, and Applications / M. Aliofkhazraei, A.S. Rouhaghdam // Applied Surface Science. – 2016. (In English).
18. Prolonged growth of thick ceramic coatings by plasma electrolytic oxidation / E. Matykina et al // Thin Solid Films. – 2010. – № 518(15). – R. 4223-4230. (In English).

**Н. Серікбекұлы\*, К.Д. Орманбеков<sup>1,2</sup>, А.Б. Шынарбек<sup>1,2</sup>, А.Ж. Жасұлан<sup>1,2</sup>,  
Б.А. Лобасенко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

<sup>2</sup>«Материалдар бетінің түрлендіру» ғылыми орталығы  
Қазақстан Республикасы, Семей қ., дене шынықтыру к-сі, 4в

<sup>3</sup>Кемерово мемлекеттік университеті,  
650000, Ресей Федерациясы, Кемерово, Красная к-сі, 9

\*e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com

### **АВИАЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ АВТОМОБИЛЬ БӨЛШЕКТЕРІН ӨНДІРУДЕ МИКРОДОҒАЛЫҚ ТОТЫҒУДЫ ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ**

*Бұл мақалада авиация және автомобиль өнеркәсібінде микродоғалық тотығу (МДТ) технологиясын қолдану перспективалары қарастырылады. МДТ процесі металл бөлшектердің бетінде берік, тозуға төзімді және коррозияға төзімді жабындарды жасауға мүмкіндік береді, бұл олардың беріктігі мен пайдалану сипаттамаларын айтарлықтай арттырады. МДТ-дың технологиялық аспектілері, соның ішінде бетті дайындау ерекшеліктері, электролиттерді таңдау және процесс параметрлерін бақылау талқыланады. МДТ-ды авиациялық және автомобиль бөлшектерін өндіруде сәтті қолдану мысалдары келтірілген. Жаңа материалдарды, құрама жабындарды жасау және нақты жұмыс жағдайында жабындардың төзімділігін зерттеуді қоса алғанда, одан әрі зерттеу және технологияны дамыту бағыттары да зерттелуде. Мақалада МДТ көлік құралдары мен жабдықтардың сенімділігі мен тиімділігін арттырудың перспективалық технологиясы ретіндегі маңыздылығы көрсетілген.*

***Түйін сөздер:** микродоғалық тотығу, авиация өнеркәсібі, автомобиль өнеркәсібі, тозуға төзімділік, коррозияға төзімділік, қорғаныс жабындары, аралас жабындар.*

**N. Serikbekuly<sup>1,2\*</sup>, K.D. Ormanbekov<sup>1,2</sup>, A.B. Shynarbek<sup>1,2</sup>, A.Zh. Zhassulan<sup>1,2</sup>,  
B.A. Lobasenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A

<sup>2</sup>Scientific center «Surface modification of materials»  
Republic of Kazakhstan, Semey, Fizkulturnaya str., 4b

<sup>3</sup>Kemerovo State University,  
650000, Russian Federation, Kemerovo, 6 Krasnaya Street

\*e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com

### **PROSPECTS FOR THE USE OF MICROARC OXIDATION IN THE PRODUCTION OF AVIATION AND AUTOMOTIVE COMPONENTS**

*This article discusses the prospects for the application of microarc oxidation (MAO) technology in the aviation and automotive industries. The MAO process allows the creation of durable, wear-resistant and*

*corrosion-resistant coatings on the surface of metal parts, which significantly increases their durability and performance characteristics. Technological aspects of MAO are discussed, including surface preparation features, selection of electrolytes and control of process parameters. Examples of successful application of MAO in the production of aviation and automotive components are given. Also, directions for further research and development of the technology are explored, including the creation of new materials, combined coatings and the study of the durability of coatings under real operating conditions. The article emphasizes the importance of MAO as a promising technology for improving the reliability and efficiency of vehicles and equipment.*

**Key words:** microarc oxidation, aviation industry, automotive industry, wear resistance, corrosion resistance, protective coatings, combined coatings.

#### Сведения об авторах

**Нұржан Серікбекұлы\*** – магистрант специальности «Техническая физика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; Младший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com

**Айнур Жасулановна Жасулан** – магистр естественных наук, Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; Старший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

**Қуаныш Даулетович Орманбеков** – магистр технических наук, Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; Младший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: ormanbekov\_k@mail.ru.

**Айбек Бақытжанұлы Шынарбек** – магистр специальности «Машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; Младший научный сотрудник НЦ «Модификация поверхности материалов»; e-mail: shinarbekov16@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>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Нұржан Серікбекұлы\*** – «Техникалық физика» мамандығының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Материалдар бетінің модификациясы» ФО кіші ғылыми қызметкері; e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com.

**Айнур Жасуланқызы Жасулан** – жаратылыстану ғылымдарының магистрі; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Материалдар бетінің түрлендіру» ФО аға ғылыми қызметкері; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

**Қуаныш Даулетович Орманбеков** – техника ғылымдарының магистрі; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Материалдар бетін өзгерту» ФО кіші ғылыми қызметкері; e-mail: ormanbekov\_k@mail.ru.

**Айбек Бақытжанұлы Шынарбек** – «Машина жасау» мамандығының магистрі; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Материалдар бетінің модификациясы» ФО кіші ғылыми қызметкері; e-mail: shinarbekov16@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>.

#### Information about the authors

**Nurzhan Serikbekuly\*** – Master's student of the specialty «Technical Physics»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; Junior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: nurzhan.serikbek@gmail.com.

**Ainur Zhassulankyzy Zhassulan** – Master of natural science; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; senior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: ainur.99.99.99@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

**Kuanysh Dauletovich Ormanbekov** – Master of technical science; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; Junior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: ormanbekov\_k@mail.ru.

**Aibek Bakhytzhanyky Shynarbek** – Master of technical science; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; Junior researcher of the NC «Modification of the surface of materials»; e-mail: shinarbekov16@mail.ru.

**Boris Anatolyevich 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>.

Поступила в редакцию 05.09.2024

Поступила после доработки 17.09.2024

Принята к публикации 18.09.2024

**К.Д. Орманбеков\***, **А.Ж. Жасұлан<sup>1</sup>**, **З.А. Сатбаева<sup>1,2</sup>**, **Г.М. Андыбаева<sup>2,3</sup>**, **Т. Жанабай<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Инжиниринг центр «Упрочняющие технологии и покрытия»,  
Университет имени Шакарима города Семей,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Физкультурная, 4в

<sup>2</sup>ТОО «Plasma Science»,

070018, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Гоголя 7Г

<sup>3</sup>ТОО «Инжиниринговый центр «Иннотехмаш»,

070010, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева 37

<sup>4</sup>Университет Сакарья,

54050, Турция, г. Сакарья, ул. Академийолу, 5-20

\*e-mail: [kuanysh.dauletson@gmail.com](mailto:kuanysh.dauletson@gmail.com)

## **ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ**

**Аннотация:** Исследование демонстрирует значительное влияние облучения электронным пучком на трибологические и механические свойства политетрафторэтилена (ПТФЭ). Облучение электронным пучком, метод, использующий электроны высокой скорости для модификации свойств материала, было применено к ПТФЭ с целью потенциального улучшения его износостойкости и механической твердости, что особенно важно для применения в условиях повышенного износа. В ходе экспериментов образцы ПТФЭ облучали различными дозами и оценивали их износостойкость, микротвердость и шероховатость поверхности после облучения. Результаты трибологических испытаний показали заметное улучшение износостойкости и микротвердости с увеличением доз облучения. В частности, облученные образцы продемонстрировали уменьшение объема износа и улучшенные поверхностные характеристики по сравнению с необлученным образцом. Облученный образец (ПТФЭ-2) показал наибольшую стойкость к абразивному износу и значительное повышение твердости поверхности, что свидетельствует о том, что облучение электронным пучком эффективно укрепляет материал, вызывая сшивание и другие структурные изменения в полимерной матрице. Кроме того, были выявлены изменения шероховатости поверхности. Облученные образцы показали измененные параметры, что способствовало повышению их износостойкости. Эти изменения объясняются физико-химическими преобразованиями, вызванными воздействием электронного пучка, которые модифицируют поверхностные и подповерхностные области полимера. Данное исследование подтверждает, что облучение электронным пучком является эффективным методом для улучшения механических и трибологических свойств ПТФЭ, делая его более подходящим для высокотехнологичных инженерных применений, где необходимы высокая прочность и устойчивость к экстремальным условиям. Полученные результаты открывают новые перспективы для использования ПТФЭ в секторах, требующих высокой производительности, расширяя его применение за пределы традиционных областей.

**Ключевые слова:** Политетрафторэтилен (ПТФЭ), облучение электронным пучком, коэффициент трения, износ, микротвердость.

### **Введение**

Полимеры играют ключевую роль в машиностроении благодаря их уникальным характеристикам, включая стойкость к коррозии, малый вес и способность сохранять свои свойства при высоких температурах. Один из наиболее популярных синтетических полимеров, используемых в промышленности, – это политетрафторэтилен (ПТФЭ), широко известный как тефлон. Это полимер с особыми физико-химическими свойствами, которые делают его идеальным для применения в условиях повышенного износа и воздействия агрессивных химических сред. ПТФЭ обладает уникальной молекулярной структурой, где атомы углерода и фтора формируют прочные ковалентные связи. Эта структура делает материал стойким к воздействию кислот, щелочей и органических растворителей, придавая ему отличные антипригарные и антифрикционные свойства. Более того, низкий коэффициент



трения и высокая термическая стабильность делают ПТФЭ незаменимым в таких отраслях, как аэрокосмическая, автомобильная и химическая промышленности. Полимер способен сохранять свои свойства даже при экстремальных температурах и нагрузках, что значительно расширяет возможности его применения в сложных инженерных задачах [1-9].

Межмолекулярные взаимодействия в ПТФЭ в основном обусловлены силами Ван-дер-Ваальса, которые слабее ковалентных связей, но достаточно сильны для обеспечения высокой стойкости материала к агрессивным средам и температурным воздействиям. ПТФЭ полимеризуется путем свободнорадикальной полимеризации тетрафторэтилена, при которой свободные радикалы инициируют реакцию, формируя длинные цепи полимера. Этот процесс обеспечивает материалу уникальные свойства, такие как высокая инертность и устойчивость к воздействию ультрафиолетового излучения и других факторов [10-15].

Несмотря на многочисленные преимущества ПТФЭ, его трибологические свойства, такие как износостойкость и механическая прочность, ограничены, особенно в условиях высокой нагрузки и трения. Для улучшения этих свойств были разработаны различные методы модификации, включая механическое упрочнение, плазменное напыление, добавление наполнителей и электронное облучение. Однако каждый из этих методов имеет свои ограничения и недостатки. Механическое упрочнение часто связано с необходимостью применения высоких давлений или температур, что может привести к деформации материала и неравномерному распределению свойств по объему. Этот метод также не всегда обеспечивает достаточное улучшение износостойкости, особенно в условиях высоких нагрузок и трения. Плазменное напыление позволяет наносить защитные покрытия на поверхность ПТФЭ, однако этот метод требует сложного оборудования и тщательной подготовки поверхности [16-22]. Покрытия, полученные таким образом, могут иметь недостаточную адгезию к основному материалу, что снижает их эффективность в долгосрочной перспективе. Кроме того, плазменное напыление ограничено в толщине наносимого слоя, что может не обеспечивать необходимую долговечность. Добавление наполнителей, таких как углеродные волокна или металлические частицы, может значительно улучшить механические и трибологические свойства ПТФЭ. Однако этот подход имеет свои недостатки, поскольку добавление наполнителей часто ухудшает химическую стойкость и термическую стабильность материала. Кроме того, это может привести к увеличению плотности материала и утрате некоторых его исходных качеств, таких как гибкость и низкий коэффициент трения [23-26].

Несмотря на существующие ограничения и недостатки традиционных методов улучшения свойств ПТФЭ, поиск эффективных решений для повышения его трибологических характеристик остается актуальной задачей. В этом контексте электронное облучение представляет собой перспективный альтернативный подход, который, в отличие от других методов, обеспечивает глубокую модификацию материала на молекулярном уровне. Электронное облучение представляет собой метод обработки материалов, при котором высокоэнергетические электроны воздействуют на материал. Соответственно, обработка электронным пучком позволяет существенно изменять структуру полимера, создавая новые связи между цепями, что может привести к значительным улучшениям механических и трибологических свойств без ущерба для химической стойкости и термической стабильности [27-30].

В случае ПТФЭ электроны могут вызывать сшивание полимерных цепей, что приводит к увеличению плотности сшивок и, как следствие, к улучшению физико-химических свойств материала. В процессе облучения электроны, проникая в материал, вызывают ионизацию и возбуждение молекул, что может приводить к разрыву и повторному соединению химических связей, а также к созданию новых структурных элементов внутри полимера.

Преимущества электронного облучения заключаются в его высокой эффективности, точности и способности контролировать процесс на молекулярном уровне. Этот метод не требует применения высоких температур или агрессивных химических реагентов, что делает его экологически безопасным и экономически эффективным. Облучение электронным пучком также позволяет модифицировать материал с высокой точностью, что особенно важно при создании компонентов с заданными свойствами. Параметры обработки полимера можно регулировать, изменяя дозировку и энергию электронного пучка [31-32]. Для достижения желаемых результатов после облучения необходимо определить оптимальные параметры. Среди параметров электронного облучения важной является энергия пучка, так как она

определяет глубину проникновения электронов в материал, а доза облучения — количество энергии, передаваемое материалу [33-34].

Целью данного исследования является всесторонняя оценка влияния электронного облучения на трибо-механические свойства ПТФЭ. В рамках работы исследованы его механические свойства, устойчивость к износу и трибологические характеристики после обработки электронным пучком. Полученные результаты могут стать основой для разработки новых технологических процессов, направленных на улучшение эксплуатационных характеристик ПТФЭ и расширение его применения в высокотехнологичных областях.

### Материалы и методы

В качестве исходного материала для экспериментов использовался политетрафторэтилен (ПТФЭ) в форме стержня диаметром 30 мм. После приобретения стержень был разрезан на отдельные пластины, каждая из которых имела толщину 3 мм. Для обеспечения равномерной обработки образцов, перед облучением электронным пучком их поверхности подвергались полировке, чтобы достичь шероховатости менее Ra < 1 мкм.

Образцы ПТФЭ были подвергнуты обработке электронным пучком с использованием импульсного линейного ускорителя ИЛУ-10, расположенного в АО "Парк ядерных технологий" в г. Курчатове, Республика Казахстан. Для достижения требуемых доз радиационного воздействия параметры электронного пучка были предварительно тщательно откалиброваны. В ходе экспериментов использовались дозы облучения в 100 кГр и 120 кГр, которые применялись за один проход. Для достижения более высоких совокупных доз требовалось несколько проходов. Подробные параметры процесса облучения электронным пучком приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры облучения электронным пучком ПТФЭ

Образец	Энергия пучка, E, МэВ	Ток пучка, I, мА	Доза за один проход, кГр	Количество проходов	Общая доза радиации, кГр
ПТФЭ-1	2.7	6.84	100	4	400
ПТФЭ-2	2.7	6.84	120	5	600

Испытания образцов на износ в условиях сухого трения проводились с использованием установки «шар-диск» с нагрузкой 12 Н и скоростью скольжения 0,1 м/с на трибометре Anton Paar TRB3 (рис. 1). Испытание проводилось в соответствии с международными стандартами ASTM G99-959, DIN 50324 и ISO 20808. В ходе трибологических испытаний использовался стальной шар 100Cr6 диаметром 6 мм (контртело). Длина испытательного пути составляла 250 метров. Оценка объемного износа проводилась путем анализа профиля дорожки трения с использованием контактного профилометра модели 130. Измерения профиля дорожки трения проводились пять раз в разных точках образца после испытаний, и затем были рассчитаны средние значения. Расчет скользящего износа проводился по формуле (1) ниже:

$$I = \frac{2\pi r \cdot S}{d \cdot P} = \frac{V}{d \cdot P} \quad (1)$$

Где r – радиус контртела, S – площадь поперечного сечения дорожки износа, V – объем удаленного материала, d – общая длина испытательного пути, а P – приложенная нагрузка.

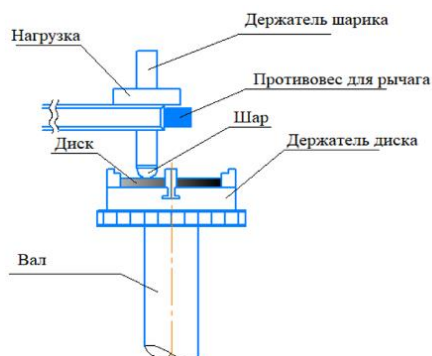


Рисунок 1 – Трибометр и схема метода «шар на диске», используемая для испытаний

Образцы подвергались испытаниям на абразивный износ на экспериментальной установке, использующей схему 'вращающийся ролик – плоская поверхность' с применением свободно движущихся абразивных частиц (рис. 2). Для испытания на истирание с использованием резинового колеса поверхности образцов были отшлифованы и отполированы, а также очищены ацетоном и высушены. Цилиндрический резиновый ролик, прижимаемый своей радиальной поверхностью к плоской поверхности испытуемого образца с силой 22 Н, вращался с частотой 1 с<sup>-1</sup>. Скорость подачи абразивных частиц между резиновым колесом и образцом, то есть в зону испытания, составляла 41-42 г/мин. В качестве абразивных частиц использовался электрокорунд с размером зерен 200-250 мкм. Износостойкость испытанного обработанного образца оценивалась путем сравнения его износа с износом эталонного образца (исходного образца). Износ измерялся гравиметрическим методом на аналитических весах GOSTMETR VLTE-510S с точностью до 0.0001 г. Образцы взвешивались каждую минуту, и испытания проводились в течение пяти минут. Перед взвешиванием образцы продувались сжатым воздухом для удаления оставшихся частиц песка. Износостойкость испытуемого материала оценивалась по потере массы образцов в ходе испытаний в соответствии с ГОСТ-23.208-79.

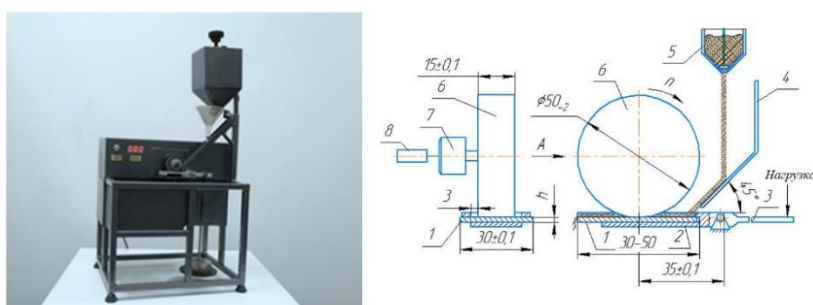


Рисунок 2 – Установка для испытания на истирание

1 – зажим; 2 – держатель; 3 – рычаг образца; 4 – направляющий лоток; 5 – механизм дозирования; 6 – ролик; 7 – привод; 8 – контроллер

Измерения твердости образцов проводились на твердомере FISCHERSCOPE HM2000S в соответствии с DIN EN ISO 14577-1 и ASTM E 2546, разработанном компанией Helmut Fischer GmbH Institut für Elektronik und Messtechnik. Время выдержки образца под нагрузкой 1 Н для полимера составляло 20 секунд. На поверхности образца было проведено не менее 10 измерений твердости в разных местах.

Шероховатость поверхности полимеров ПТФЭ до и после обработки электронным пучком измерялась с помощью профилометра модели NY2300 Anytester.

### Результаты и обсуждение

На рисунке 3 представлены коэффициенты трения для исходных и обработанных электронным пучком образцов ПТФЭ на протяжении пути скольжения в 250 метров. Исходный образец ПТФЭ показывает начальный пик коэффициента трения, который быстро уменьшается и стабилизируется на более низком уровне в течение теста. Два обработанных образца, ПТФЭ-1 (облученный при дозе 400 кГр) и ПТФЭ-2 (облученный при дозе 600 кГр), демонстрируют существенно иное поведение.

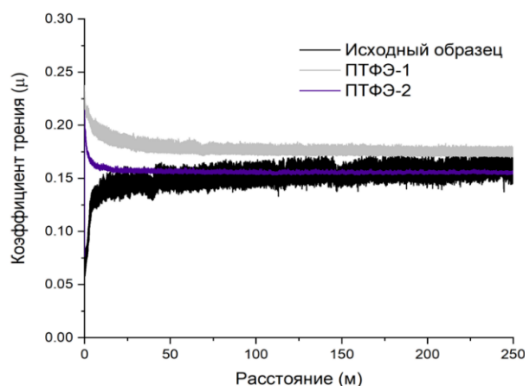


Рисунок 3 – Коэффициент трения исходного и облученного ПТФЭ при различных дозах

Из представленных данных коэффициент трения исходного образца ПТФЭ составляет 0.152, в то время как для образца ПТФЭ-1, обработанного электронным пучком при дозе облучения 400 кГр, он увеличивается до 0.178. Это увеличение может быть связано с изменением структуры поверхности и химического состава материала в результате облучения, что приводит к изменениям в адгезионных и механических взаимодействиях между ПТФЭ и контртелом в условиях трения. Увеличение коэффициента трения также может указывать на повышение шероховатости поверхности или образование новых функциональных групп, способствующих большей адгезии. Для образца ПТФЭ-2, облученного при более высокой дозе 600 кГр, коэффициент трения немного снизился до 0.156 по сравнению с ПТФЭ-1. Это может быть связано с дальнейшими изменениями структуры материала, которые могли произойти из-за более интенсивного воздействия электронного пучка. Возможно, что при более высокой дозе облучения происходит сшивание молекул на поверхности [36-37], что приводит к изменениям в энергии поверхности и снижению адгезии. В результате это может повлиять на величину коэффициента трения.

На рисунке 4 представлены измерения объема износа для образцов ПТФЭ, включая исходный, ПТФЭ-1 и ПТФЭ-2, подвергнутых различным дозам облучения электронным пучком. Исходный образец демонстрирует наибольший объем износа, около 2,7 мм<sup>3</sup>, что указывает на наименьшую стойкость необлученного материала к абразивному воздействию при используемых условиях испытания. После облучения наблюдается значительное снижение объема износа у обоих облученных образцов. Образец ПТФЭ-1 показывает объем износа около 1,6 мм<sup>3</sup>, что свидетельствует о повышенной износостойкости благодаря процессу облучения. Это улучшение может быть связано с изменениями в структуре полимера, такими как сшивание или другие модификации на молекулярном уровне, которые усиливают его способность противостоять абразивным силам. Образец ПТФЭ-2, получивший более высокую дозу облучения, демонстрирует более значительное уменьшение объема износа, составляющее около 0,4 мм<sup>3</sup>. Это значительное снижение указывает на то, что повышение дозы облучения электронным пучком существенно улучшает износостойкость материала, вероятно, за счет дальнейшего усиления сшивки полимерных цепей или формирования более плотной и устойчивой молекулярной структуры [38-39].

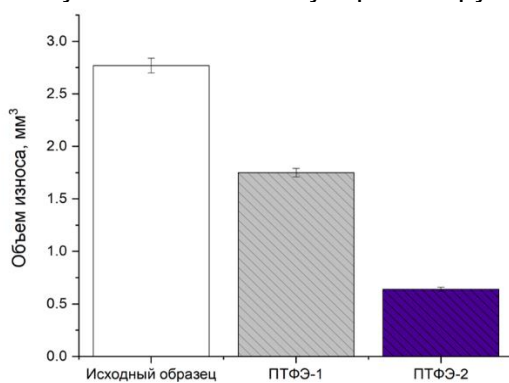


Рисунок 4 – Объем износа исходного и облученного ПТФЭ при различных дозах

На рисунке 5 представлено детальное сравнительное исследование следов износа на образцах ПТФЭ до и после облучения электронным пучком, подчеркивающее характеристики поверхностного износа и влияние облучения на износостойкость.

Исходный образец демонстрирует износ, отмеченный черной стрелкой, с неглубоким профилем, что указывает на минимальное удаление материала и равномерную стойкость к абразивному износу. В отличие от этого, образец ПТФЭ-1, подвергнутый 400 кГр облучению, отмеченный синей стрелкой, показывает более узкий и четкий след с более глубоким профилем. Эти изменения указывают на концентрацию износа и повышенную стойкость к разрушению. Наиболее значительное изменение наблюдается у ПТФЭ-2, который подвергнулся 600 кГр облучению: тонкий, четкий след с неглубоким профилем указывает на улучшенную твердость и износостойкость. Эта закономерность объясняется тем, что более высокие дозы облучения электронным пучком могут существенно улучшить износостойкость ПТФЭ за счет сшивания и других структурных изменений в полимерной матрице, что приводит к поверхности, более устойчивой к абразивным воздействиям.

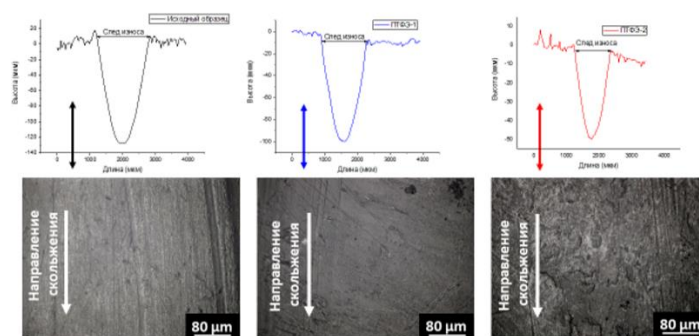


Рисунок 5 – Следы износа исходного и облученного ПТФЭ при различных дозах

Кроме того, микрофотографии следов износа показывают, что образец ПТФЭ-2 имеет неравномерную траекторию износа, что указывает на то, что контртело столкнулось с большим сопротивлением по сравнению с исходным образцом и ПТФЭ-1. Это различие в следах износа может быть связано с улучшенной структурной целостностью и однородностью, вызванной облучением, что помогает сохранять целостность поверхности полимера в условиях сухого трения.

Результаты испытаний, представленные в таблице 2 и таблице 3, показывают значительное различие в устойчивости к абразивному износу среди образцов, испытанных в идентичных условиях. Исходный образец, не подвергавшийся предварительной обработке облучением, показал наименьший износ, потеряв всего 0,1 г. Это говорит о том, что исходный ПТФЭ обладает более высокой стойкостью к удалению материала в условиях абразивного воздействия, что, вероятно, связано с его неизменной молекулярной структурой и целостностью поверхности. В отличие от этого, образцы ПТФЭ-1 и ПТФЭ-2, которые подвергались облучению продемонстрировали более значительную потерю материала: ПТФЭ-1 потерял 0,24 г, а ПТФЭ-2 – 0,56 г. Примечательно, что ПТФЭ-2 показал наиболее выраженный износ, что указывает на значительное снижение его стойкости к абразивному износу. Это можно объяснить изменениями в микроструктуре полимера или свойствами поверхности, вызванными облучением, которые, возможно, ослабили способность материала противостоять механическим нагрузкам, характерным для абразивного износа.

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов на абразивный износ

№	Образец	Время испытания, мин	Вес до испытания, г	Вес после испытания, г	Абразивный износ (по потере веса), г
1	Исходный образец	5	3,70	3,60	0,1
2	ПТФЭ-1	5	3,65	3,41	0,24
3	ПТФЭ-2	5	4,03	3,47	0,56

Таблица 3 – Результаты расчетов относительной износостойкости ( $K_w$ ) полимеров ПТФЭ для абразивного износа

№	Образец	Потеря массы, г	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Относительная износостойкость $K_w$
1	ПТФЭ-1	0,24	2200	0,416
2	ПТФЭ-2	0,56	2200	0,178

Рассчитанные значения относительной износостойкости ( $K_w$ ) еще больше подчеркивают эти различия. Образец ПТФЭ-1 показывает значение  $K_w$  0,416, что указывает на умеренную стойкость к абразивному износу, в то время как ПТФЭ-2 с значением  $K_w$  0,178 подтверждает значительно меньшую устойчивость по сравнению как с исходным образцом, так и с ПТФЭ-1.

На рисунке 6 показано увеличение твердости образцов, коррелирующее с ростом доз радиации. Значительное улучшение микротвердости было зафиксировано у облученных образцов, что объясняется сшиванием, вызванным радиацией, которое повышает сопротивляемость деформациям поверхности. Наименьшая твердость среди облученных образцов была зафиксирована при дозе облучения 400 кГр. При дозе 600 кГр и энергии пучка 2,7 МэВ микротвердость оказалась в 1,5 раза выше по сравнению с необлученным образцом. Исследования других авторов также подтверждают, что механические свойства ПТФЭ значительно зависят от параметров облучения. Так, результаты показывают, что увеличение дозы электронного облучения способствует повышению микротвердости материала за счет

формирования более плотной структуры. Это может быть связано с усиленной дисперсией полимерных частиц и увеличением сшивки полимерных цепей, что вносит вклад в улучшение механических характеристик. Также следует отметить, что некоторые авторы указывают на изменения в кристалличности поверхностного слоя ПТФЭ после обработки, что оказывает дополнительное влияние на микротвердость и прочность материала [40-41].

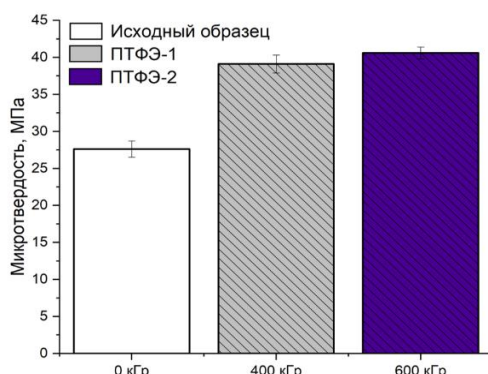


Рисунок 6 – Микротвердость образцов полимера ПТФЭ до и после облучения электронным пучком

Измерения шероховатости поверхности ПТФЭ выявили значительные изменения после облучения электронным пучком. Профилограммы как исходных, так и облученных образцов, представленные на рисунке 7, показывают почти линейное увеличение параметров шероховатости Ra, Rmax и Rz для образцов ПТФЭ-1 и ПТФЭ-2, как указано в таблице 4. Значительное увеличение шероховатости облученных поверхностей ПТФЭ можно объяснить взаимодействием электронного облучения с поверхностью полимеров, включающим как физическое воздействие электронов, так и нагревание поверхности, что привело к изменениям в морфологии поверхности и, как следствие, повлияло на значения шероховатости [42-43].



Рисунок 7 – Профилограммы поверхности образцов ПТФЭ

Данные, представленные в таблице 4, еще раз подтверждают эти выводы. Например, после облучения средняя шероховатость (Ra) ПТФЭ увеличилась с  $0.86 \pm 0.03$  мкм до  $1.49 \pm 0.04$  мкм при дозе 400 кГр, а при 600 кГр средняя шероховатость ПТФЭ-2 достигла  $0.26 \pm 0.04$  мкм. Такое значительное увеличение шероховатости поверхности указывает на то, что облучение электронным пучком существенно модифицирует поверхность этих полимеров. Параметры Rz и Rmax также показывают аналогичную тенденцию. Например, максимальная глубина шероховатости (Rmax) для ПТФЭ-1 после облучения увеличилась с  $11.01 \pm 0.20$  мкм до  $11.14 \pm 0.28$  мкм, а для ПТФЭ-2 до  $16.50 \pm 0.34$  мкм. Эти изменения еще раз подтверждают влияние электронного облучения на поверхность полимера.

Таблица 4 – Параметры шероховатости поверхности исходных и облученных электронным пучком образцов ПТФЭ

Образец полимера	Ra, мкм	Rz, мкм	Rmax, мкм
Исходный образец	$0,86 \pm 0,03$	$8,13 \pm 0,15$	$10,23 \pm 0,44$
ПТФЭ-1	$1,49 \pm 0,04$	$11,01 \pm 0,20$	$11,14 \pm 0,28$
ПТФЭ-2	$2,03 \pm 0,05$	$12,37 \pm 0,31$	$16,50 \pm 0,34$

В целом изменения параметров шероховатости поверхности указывают на то, что облучение электронным пучком оказывает значительное влияние на свойства поверхности ПТФЭ. Этот эффект, вероятно, обусловлен сочетанием факторов, включая нагрев поверхности и взаимодействие электронов со структурой полимера, что приводит к более шероховатой морфологии поверхности.

### **Заключение**

Исследование демонстрирует значительное влияние облучения электронным пучком на трибологические и механические свойства ПТФЭ. Результаты показывают, что облучение электронным пучком значительно улучшает износостойкость и микротвердость материала, делая его более пригодным для применения в условиях, где требуется долговечность в экстремальных условиях.

Исследование тщательно описывает изменения в следах износа и объеме после облучения. Изначально ПТФЭ демонстрирует минимальный износ, сохраняя большую часть своей массы и структуры. Однако после облучения наблюдается явное различие в объеме износа между обработанными и необработанными образцами. Облученные образцы ПТФЭ (ПТФЭ-1 и ПТФЭ-2) показывают значительное снижение объема износа, что указывает на улучшенную стойкость к абразивным воздействиям. Эти изменения, вероятно, являются результатом способности электронного пучка модифицировать поверхностные и подповерхностные области полимера, улучшая его структурную целостность.

Более того, детальный анализ следов износа соответствует количественным измерениям износа. Облученные образцы демонстрируют более узкие и мелкие следы износа по сравнению с исходным образцом, что свидетельствует о меньшей деградации материала и лучшей сохранности поверхности во время испытаний. Этот вывод имеет важное значение, так как он напрямую коррелирует с увеличением износостойкости, наблюдаемой в результатах тестов на объемный износ.

Измерения шероховатости поверхности также подтверждают улучшенные трибологические свойства, показывая, что характеристики поверхности ПТФЭ значительно улучшаются после облучения. Эта модификация текстуры поверхности не только способствует снижению износа, но и потенциально улучшает взаимодействие материала с контактными поверхностями в рабочих условиях.

В целом, исследование заключает, что облучение электронным пучком является действенным методом для значительного улучшения износостойкости и механических свойств ПТФЭ, расширяя его применимость в более требовательных инженерных областях. Это достижение открывает новые возможности для использования ПТФЭ в областях, где требуется повышенная производительность, укрепляя его роль в различных промышленных приложениях.

### **Список литературы**

1. Mukhtar N.Z.F. A Study on Commercial Polytetrafluoroethylene as a High Potential Polymer / N.Z.F. Mukhtar, M. Rusop, S. Abdullah // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 832. – P. 543-546.
2. Kameda T. Polytetrafluoroethylene (PTFE): A resin material for possible use in dental prostheses and devices / T. Kameda, K. Ohkuma, S. Oka // *Dental Materials Journal*. – 2019. – Vol. 38, № 1. – P. 136-142.
3. Jones M. PTFE plain bearings / M. Jones // *Industrial Lubrication and Tribology*. – 1996. – Vol. 48, № 6. – P. 10-12. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000004131>.
4. Chemical structure and physical properties of radiation-induced crosslinking of polytetrafluoroethylene / A. Oshima et al // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2001. – Vol. 62, № 1. – P. 39-45.
5. Blanchet T.A. Wear resistant irradiated FEP/unirradiated PTFE composites / T.A. Blanchet, Y.L. Peng // *Wear*. – 1998. – Vol. 214, № 2. – P. 186-191.
6. Oshima A. Application of radiation-crosslinked polytetrafluoroethylene to fiber-reinforced composite materials / A. Oshima, A. Udagawa, Y. Morita // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2001. – Vol. 60, № 4-5. – P. 467-471.
7. Tribological properties of radiation cross-linked polytetrafluoroethylene sheets / Z. Tang et al // *Wear*. – 2010. – Vol. 269, № 5-6. – P. 485-490.
8. Lappan U. Electron beam irradiation of polytetrafluoroethylene in vacuum at elevated temperature: an infrared spectroscopic study / U. Lappan, U. Geißler, K. Lunkwitz // *Journal of Applied Polymer Science*. – 1999. – Vol. 74, № 6. – P. 1571-1576.

9. Dhanumalayan E. Performance properties and applications of polytetrafluoroethylene (PTFE)—a review / E. Dhanumalayan, G.M. Joshi // *Advanced Composites and Hybrid Materials*. – 2018. – Vol. 1. – P. 247-268.
10. Puts G.J. Polytetrafluoroethylene: synthesis and characterization of the original extreme polymer / G.J. Puts, P. Crouse, B.M. Ameduri // *Chemical Reviews*. – 2019. – Vol. 119, № 3. – P. 1763-1805.
11. Perfluoropolyether–tetrafluoroethylene (PFPE–TFE) block copolymers: An innovative family of fluorinated materials / M. Avataneo et al // *Journal of Fluorine Chemistry*. – 2011. – Vol. 132, № 11. – P. 885-891.
12. Teng H. Overview of the development of the fluoropolymer industry / H. Teng // *Applied Sciences*. – 2012. – Vol. 2, № 2. – P. 496-512.
13. High temperature ion beam erosion of polytetrafluoroethylene / M. Adami et al // *Thin Solid Films*. – 2004. – Vol. 459, № 1-2. – P. 318-322.
14. Pinkerton D.M. Polytetrafluoroethylene: Effects of  $\gamma$ -radiation on fine structure / D.M. Pinkerton, K.R.L. Thompson // *Journal of Polymer Science Part A-2: Polymer Physics*. – 1972. – Vol. 10, № 3. – P. 473-488.
15. Improved thermal stability of crosslinked PTFE using fluorine gas treatment / J.H. Kim et al // *Journal of Fluorine Chemistry*. – 2008. – Vol. 129, № 7. – P. 654-657.
16. Plasma immersion ion implantation of poly (tetrafluoroethylene) / T.L. Schiller et al // *Surface and Coatings Technology*. – 2004. – Vol. 177. – P. 483-488.
17. Effects of the fraction of PTFE and film thickness on wear and friction in an ePTFE and epoxy composite solid lubricant coating / N.L. McCook et al // *World Tribology Congress*. – 2005. – Vol. 42029. – P. 929-930.
18. Wear properties of PTFE polymer coated carbon steel using atmospheric and RF low pressure plasma / H.V. Ozkavak et al // *IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS)*. – 2013. – P. 1-1.
19. Formation of protective composite coatings with the use of SPTFE suspensions / K.V. Nadaraia et al // *AIP Conference Proceedings*. – 2017. – Vol. 1874.
20. Huang C.Y. The effect of interface modification between POM and PTFE on the properties of POM/PTFE composites / C.Y. Huang, C.I. Tseng // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2000. – Vol. 78, № 4. – P. 800-807.
21. Markova, M.A. Development of wear-resistant materials based on polytetrafluoroethylene and carbon fibers of UVIS-AK-P brand / M.A. Markova, P.N. Petrova // *In Materials Science Forum*. – 2019. – Vol. 945. – P. 327-332.
22. Gangal S.V. Perfluorinated polymers. / S.V. Gangal // *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. – 2000.
23. Manufacturing technology of composite materials—principles of modification of polymer composite materials technology based on polytetrafluoroethylene / A. Panda et al // *Materials*. – 2017. – № 10(4). – P. 377.
24. Puts G.J. Polytetrafluoroethylene: synthesis and characterization of the original extreme polymer / G.J. Puts, P. Crouse, B.M. Ameduri // *Chemical reviews*. – 2019. – № 119(3). – P. 1763-1805.
25. Comparative Study on the Frequency and Wear of Thermoplastic Polymeric Materials Based on PTFE / I.C. Petre et al // *Mater.* – 2021. – Plast 58(2).
26. Khan M.S. PTFE-based rubber composites for tribological applications / M.S. Khan, G. Heinrich // *Advanced Rubber Composites*. – 2011. – P. 249-310.
27. The effect of irradiation on mechanical and thermal properties of selected types of polymers / D. Manas et al // *Polymers*. – 2018. – № 10(2). – P. 158.
28. Effects of Electron Beam Irradiation on Mechanical and Tribological Properties of PEEK / B. Kurbanova et al // *Polymers*. – 2023. – № 15(6). – P. 1340.
29. Novel organic material induced by electron beam irradiation for medical application / A. Barylski et al // *Polymers*. – 2020. – № 12(2). – P. 306.
30. Nakamura S. Influence of electron beam irradiation on the mechanical and thermal properties of polypropylene/polyamide6 blends / S. Nakamura, K. Tokumitsu, T. Yamaguchi // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2013. – № 130(6). – P. 4318-4326.
31. The effect of high-energy ionizing radiation on the mechanical properties of a melamine resin, phenol-formaldehyde resin, and nitrile rubber blend / I. Kopal et al // *Materials*. – 2018. – № 11(12). – P. 2405.



32. Effects of electron beam irradiation on mechanical properties and nanostructural–morphology of montmorillonite added polyvinyl alcohol composite / S.T. Bee et al // Composites Part B: Engineering. – 2014. – № 63. – P. 141-153.
33. Electron beam induced surface modifications of PET film / A.A. El-Saftawy et al // Radiation Physics and Chemistry. – 2014. – № 102. – P. 96-102.
34. Study of structural, surface energies, and tribomechanical properties of thermoplastics irradiated by electron beam / B. Rakhadilov et al // Materials Research Express. – 2024. – № 11(8). – P. 085307.
35. Effect of electron irradiation on mechanical, tribological and thermal properties of polytetrafluoroethylene / K.D. Ormanbekov et al // Eurasian Journal of Physics and Functional Materials. – 2023. – № 7(4). – P. 221-231.
36. Influence of the gamma irradiation dose on tribological property of polytetrafluoroethylene / L. Chai et al // Tribology International. – 2020. – Т. 144. – С. 106094.
37. Abdou S.M. Characterization of structural modifications in poly-tetra-fluoroethylene induced by electron beam irradiation / S.M. Abdou, R.I. Mohamed // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2002. – Т. 63, № 3. – P. 393-398.
38. Mechano-chemical properties of electron beam irradiated polyetheretherketone / N. Almas et al // Polymers. – 2022. – Т. 14, № 15. – P. 3067.
39. The impact of non-vacuum electron beam treatment on the structure and properties of ultra-high molecular weight polyethylene / Z.B. Sagdoldina et al // Bulletin of the Karaganda University «Physics Series» – 2020. – Т. 97, № 1. – P. 35-41.
40. Mechanical properties and the evolution of matrix molecules in PTFE upon irradiation with MeV alpha particles / G.L. Fisher et al // Applied Surface Science. – 2006. – Т. 253, № 3. – P. 1330-1342.
41. Comparative study on microstructure, mechanical, and tribological property of gamma-irradiated polytetrafluoroethylene, polyetheretherketone, and polyimide polymers / L. Chai et al // Surface and Interface Analysis. – 2022. – № 54(1). – P. 13-24.
42. Effect of electron beam treatment in air on surface properties of ultra-high-molecular-weight polyethylene / I.Y. Grubova et al // Journal of Medical and Biological Engineering. – 2016. – Т. 36. – P. 440-448.
43. McRae M.A. Infrared spectroscopic studies on polyethylene, 4. The examination of drawn specimens of varying stress crack resistance / M.A. McRae, W.F. Maddams // Die Makromolekulare Chemie: Macromolecular Chemistry and Physics. – 1976. – Т. 177, № 2. – P. 473-484.

### **Информация о финансировании**

*Работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования Комитета науки МНУВО РК АР13068529 «Разработка технологии электронно-лучевого модифицирования полимерных материалов, применяемых в машиностроении».*

**К. Орманбеков<sup>1\*</sup>, А. Жасұлан<sup>1</sup>, З. Сатбаева<sup>1,2</sup>, Г. Андыбаева<sup>2,3</sup>, Т. Жаңабай<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Инжиниринг орталығы «Қатайту технологиялары және жабындар»,  
Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Физкультурная к-сі, 4 в

<sup>2</sup>ЖШС «Plasma Science»,

070018, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ., Гоголя к-сі, 7 Г

<sup>3</sup>ЖШС «Иннотехмаш» Инжиниринг Орталығы»,

070010, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ., Серікбаева 37 к-сі

<sup>4</sup>Сакарья Университеті,

54050, Түркия, Сакарья қ., Академиолу к-сі, 5-20

\*e-mail: kuanysh.dauletson@gmail.com

### **ИНЖЕНЕРЛІК ҚОЛДАНУ ҮШІН ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕННІҢ ТРИБОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ЭЛЕКТРОНДЫ СӘУЛЕЛЕНУДІҢ ӘСЕРІ**

*Зерттеу политетрафторэтиленнің (ПТФЭ) трибологиялық және механикалық қасиеттеріне электронды сәулеленудің айтарлықтай әсерін көрсетеді. Материалдың қасиеттерін өзгерту үшін жоғары жылдамдықты электрондарды қолданатын электронды сәулелену әдісі ПТФЭ-ге оның тозуға төзімділігі мен механикалық қаттылығын жақсарту мақсатында қолданылды, бұл әсіресе тозу жағдайында қолдану үшін өте маңызды. Эксперименттер барысында ПТФЭ үлгілері әртүрлі дозаларда сәулелендіріліп, олардың тозуға төзімділігі, микроқаттылығы және сәулеленуден кейінгі бетінің кедір-бұдырлығы бағаланды. Трибологиялық сынақтардың нәтижелері сәулелену*

дозаларының жоғарылауымен тозуға төзімділік пен микроқаттылықтың айтарлықтай жақсарғанын көрсетті. Атап айтқанда, Сәулеленген үлгілер сәулеленбеген үлгіге қарағанда тозу көлемінің төмендеуін және бетінің жақсарғанын көрсетті. Сәулеленген үлгі (ПТФЭ-2) абразивті тозуға ең жоғары төзімділікті және бетінің қаттылығының айтарлықтай жоғарылауын көрсетті, бұл электронды сәулелену материалды тиімді нығайтады, полимер матрицасында айқаспалы байланыс пен басқа құрылымдық өзгерістерді тудырады. Сонымен қатар, зерттеу бетінің кедір-бұдырының өзгеруін атап өтті: Сәулеленген үлгілер тозуға төзімділікті жақсартуға ықпал ететін кедір-бұдыр параметрлерін өзгертті. Бұл өзгерістер полимердің беткі және жер асты аймақтарын өзгертетін электронды сәуленің әсерінен болатын физика-химиялық түрлендірулермен түсіндіріледі. Бұл зерттеу электронды сәулелену ПТФЭ механикалық және трибологиялық қасиеттерін жақсартудың тиімді әдісі екенін растайды, бұл оны жоғары беріктік пен экстремалды жағдайларға төзімділік қажет болатын жоғары технологиялық инженерлік қосымшаларға қолайлы етеді. Нәтижелер ПТФЭ-ді жоғары өнімділікті қажет ететін секторларда қолданудың жаңа перспективаларын ашады, оны дәстүрлі салалардан тыс кеңейтеді.

**Түйін сөздер:** Политетрафторэтилен (PTFE), электронды сәулелену, үйкеліс коэффициенті, тозу, микроқаттылық.

**K. Ormanbekov<sup>\*</sup>, A. Zhassulan<sup>1</sup>, Z. Satbayeva<sup>1,2</sup>, G. Andybayeva<sup>2,3</sup>, T. Zhanabay<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Engineering Center «Hardening technologies and coatings»,  
Shakarim Semey University

071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Fizkulturnaya str., 4b

<sup>2</sup>ТОО «Plasma Science»,

070018, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Gogol str. 7G

<sup>3</sup>ТОО «Innotechmash Engineering Center»,

070010, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Serikbayeva str., 37

<sup>4</sup>Sakarya University,

54050, Turkey, Sakarya, Akademiyolu str., 5-20

\*e-mail: kuanysh.dauletson@gmail.com

## THE INFLUENCE OF ELECTRON BEAM IRRADIATION ON THE TRIBOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYTETRAFLUOROETHYLENE (PTFE) FOR ENGINEERING APPLICATIONS

*The study demonstrates the significant effects of electron beam irradiation on the tribological and mechanical properties of polytetrafluoroethylene (PTFE). Electron beam irradiation, a method using high-velocity electrons to modify material properties, was applied to PTFE to potentially enhance its wear resistance and mechanical hardness, which are critical for applications under increased wear conditions. In the experiments, PTFE samples were irradiated at varying doses, and their wear resistance, microhardness, and surface roughness were evaluated post-irradiation. Tribological test results showed a notable improvement in wear resistance and microhardness with increasing radiation doses. Specifically, irradiated samples exhibited reduced wear volume and enhanced surface characteristics compared to the unirradiated sample. The irradiated sample (PTFE-2) showed the highest resistance to abrasive wear and a significant increase in surface hardness, indicating that electron beam irradiation effectively strengthens the material by inducing cross-linking and other structural modifications within the polymer matrix. Additionally, the study highlighted changes in surface roughness: irradiated samples exhibited altered roughness parameters that contributed to improved wear resistance. These changes can be explained by the physical and chemical transformations induced by electron beam exposure, which modify the surface and subsurface regions of the polymer. This study confirms that electron beam irradiation is an effective method for enhancing the mechanical and tribological properties of PTFE, making it more suitable for advanced engineering applications where high durability and resistance to extreme conditions are required. The findings open new avenues for the use of PTFE in sectors requiring high performance, extending its application beyond traditional fields.*

**Key words:** Polytetrafluoroethylene (PTFE), electron beam irradiation, coefficient of friction, wear, microhardness.

### Сведения об авторах

**Куаныш Даулетович Орманбеков<sup>\*</sup>** – старший научный сотрудник Инжинирингового центра «Упрочняющие технологий и покрытия», докторант, г. Семей, Казахстан; e-mail: kuanysh.dauletson@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6099-2812>.

**Айнұр Жасұланқызы Жасұлан** – старший научный сотрудник Инжинирингового центра «Упрочняющие технологий и покрытия», докторант, г. Семей, Казахстан; e-mail: ainur.zhassulan.99@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

**Зарина Аскарбековна Сатбаева** – старший научный сотрудник Инжинирингового центра «Упрочняющие технологии и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: satbaeva.z@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-2686>.

**Гаухар Маратовна Андыбаева** – научный сотрудник Инжинирингового центра «ИННОТЕХМАШ» г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: gaukhar\_east@mail.ru.

**Тұрар Жаңабай** – магистрант, Университет Сакарья, г. Сакарья, Турция; e-mail: turarjanabay@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6202-112X>.

#### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Куаныш Даулетович Орманбеков\*** – «Қатайту технологиялары және жабындар» Инжиниринг орталығының аға ғылыми қызметкері, докторант, Семей қ., Қазақстан; e-mail: kuanysh.dauletson@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6099-2812>.

**Айнұр Жасұланқызы Жасұлан** – «Қатайту технологиялары және жабындар» Инжиниринг орталығының аға ғылыми қызметкері, докторант, Семей қ., Қазақстан; e-mail: ainur.zhassulan.99@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

**Зарина Аскарбековна Сатбаева** – «Қатайту технологиялары және жабындар» Инжиниринг орталығының аға ғылыми қызметкері, Семей қ., Қазақстан; e-mail: satbaeva.z@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-2686>.

**Гаухар Маратовна Андыбаева** – «ИННОТЕХМАШ» инженерлік орталығының ғылыми қызметкері, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: gaukhar\_east@mail.ru.

**Тұрар Жаңабай** – Сакарья университетінің магистранты, Сакарья қ., Түркия; e-mail: turarjanabay@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6202-112X>.

#### **Information about the authors**

**Kuanysh Ormanbekov\*** – Senior Researcher at the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», PhD student, Semey, Kazakhstan; e-mail: kuanysh.dauletson@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6099-2812>.

**Ainur Zhasullan** – Senior Researcher at the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», PhD student, Semey, Kazakhstan; e-mail: ainur.zhassulan.99@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5887-0135>.

**Zarina Satbayeva** – Senior Researcher at the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», Semey, Kazakhstan; e-mail: satbaeva.z@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-2686>.

**Gaukhar Andybayeva** – Researcher at the Engineering Center «Innotechmash», Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: gaukhar\_east@mail.ru.

**Turar Zhanabay** – Master's student in Physics, Sakarya University, Sakarya, Turkey; e-mail: turarjanabay@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6202-112X>.

*Поступила в редакцию 13.09.2024*

*Поступила после доработки 20.09.2024*

*Принята к публикации 23.09.2024*



**С.Г. Каманова<sup>1</sup>, Л.А. Мурат<sup>1</sup>, Ә.И. Есенжан<sup>1</sup>, С.А. Садуакасова<sup>1</sup>, Г.Х. Оспанкулова<sup>1\*</sup>**

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,  
010011, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Женис, 62

\*e-mail: bulashevag@mail.ru

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПИЩЕВЫХ ЯИЦ

**Аннотация:** Наиболее употребляемыми птичьими яйцами в мире являются куриные и утиные яйца. В яйцах содержатся все незаменимые аминокислоты в связи с чем они являются отличным источником полноценного белка. Яичный белок, как куриный, так и утиный схож по составу и обладает многими функциональными свойствами.

Целью данной работы является сравнительная характеристика химического состава и качественных характеристик коммерчески доступных яиц различного вида, произведенных на территории Казахстана. В работе применялись общепринятые химические и физические методы определения, в результате которых установлено, что все виды яиц отличаются по качественным характеристикам и химическому составу. Проведённые эксперименты установили, что наибольшей массой обладают утиные яйца (79,49 г). Яичный белок имеет щелочную рН среды, тогда как желток нейтральную рН. Наибольшее содержание воды содержится в курином белке (87,7%), утиные яйца обладают большим содержанием липидов – 36,79%, наибольшее содержание золы в перепелиных яйцах – 1,8 г.

Результаты проведённых исследований будут использованы при разработке яичных продуктов из сырья, которое должно соответствовать требованиям стандарта.

**Ключевые слова:** яйцо утиное, яйцо куриное, яйцо перепелиное, качественные характеристики, химический состав, яичный белок, яичный желток.

#### Введение

Яйцо считается здоровой пищей, которая не повышает уровень холестерина в сыворотке крови и хорошо вписывается в диеты с высоким содержанием белка и низким содержанием углеводов. Птичье яйцо является важным источником питательных веществ, содержащих все белки, липиды, витамины, минералы, являются отличным источником полноценного белка, поскольку они содержат все незаменимые аминокислоты [1, 2]. Высокое содержание белка в яйцах распределено как в желтке, так и в яичном белке [3]. Аминокислоты в яйцах почти такие же, как и в организме человека, они легко усваиваются организмом и являются недорогим источником высококачественного белка. Напротив, жиры содержатся почти исключительно в желтке и в основном представлены в виде ненасыщенных жирных кислот, которые оказывают существенное влияние на развитие нервной и иммунной систем [4]. Кроме того, яйца содержат вещества с биологическими функциями и активностью, т.е. иммунные белки, ферменты, характеризующиеся антиадгезивными и антиоксидантными свойствами, антимикробной активностью, иммуномодулирующей, противораковой и антигипертензивной активностью [5, 6]. Наличие таких составляющих и биодоступность питательных веществ подчёркивает важность яиц и их компонентов для здоровья человека и профилактики, и лечения заболеваний [7].

Поскольку пищевая ценность яиц тесно связана с качеством яиц, важно определить содержание жира, белка и влаги в яйцах. Общепринятые методы таких измерений включают экстракцию Сокслета для оценки сырых жиров, метод Кьельдаля способ оценки сырого протеина и метод сушки в печи для определения содержания воды [8, 9].

Настоящие исследования посвящены определению качественных характеристик и химического состава различных видов яиц с целью использования полученных данных при разработке технологии комплексной переработки яиц.

#### **Материалы и методы исследования**

Объекты исследования: утиные, куриные и перепелиные яйца. Перед проведением экспериментов яйца были промыты водопроводной водой, затем выдержаны в течение 10 мин. в 70% растворе этанола и высушены на воздухе. После дезинфекции, яйца были разбиты вручную и произведено отделение желтка от белка.

Исследования проведены в соответствии со следующими нормативно-методическими документами:

– такие показатели как зольность, содержание жира и белка определяли в соответствии с [10].

Содержание золы определяли путём взвешивания 2 г образца в фарфоровом тигле и обжига при температуре 600 °С в течение 6 часов в муфельной печи до получения белой золы.

Жир определяли путём взвешивания 3 г образца, экстрагированного петролейным эфиром в аппарате Сокслета в течение 6 часов.

Определение массовой доли общего азота, содержащегося в пробе, определяли методом Кьельдаля путём разложения анализируемой пробы серной кислотой с образованием солей аммония, превращении аммония в аммиак с помощью подщелачивания, отгонка аммиака и определение его количества титриметрическим методом.

Общее содержание влаги определяли согласно ГОСТ 31469-2012 [11].

Кислотность образцов определяли с помощью рН метра.

Плотность определяли двукратным взвешиванием яйца обычным способом и в дистиллированной воде (температура воды 20°С). Объем яйца вычисляется как разность между величинами двух взвешиваний. Масса, делённая на объем, даёт плотность яйца в г/мл.

Оценка результатов экспериментов осуществлена общепринятыми методами математической статистики.

#### **Результаты исследований**

В результате изучения трёх видов яиц были определены следующие их качественные характеристики: масса, плотность, кислотность и вязкость яиц, данные приведены в таблице 1.

Масса яиц характеризует их пищевую и товарную ценность и напрямую зависит от вида птицы. Согласно данным приведённым в таблице 1 масса утиного яйца составляет 79,49 г, тогда как масса перепелиного яйца равна 13,02 г.

Свежесть яиц можно определять по их плотности. Плотность измеряется отношением массы к его объёму, является косвенным показателем прочности скорлупы. Чем толще скорлупа и больше сухих веществ в яйце, тем выше его плотность, исключением является повышенное содержание жира, который, наоборот, уменьшает плотность яйца. Из данных, приведённых в таблице 1 следует, что в сравнении с куриным яйцом (1,085 г/мл) утиное имеет низкую плотность (1,035 г/мл), а соответственно и высокое содержание жира.

Таблица 1 – Качественная характеристика яиц

Наименование	Масса, г	Плотность, г/мл	Кислотность	
			белок	желток
Куриное	65,17±0,028	1,085±0,002	8,2±0,047	6,25±0,008
Утиное	79,49±0,368	1,035±0,002	8,4±0,205	6,08±0,008
Перепелиное	13,02±0,020	1,05±0,104	8,7±0,163	6,54±0,012

В результате экспериментов определена кислотность белка и желтка изучаемых яиц. Во время хранения в яйцах происходит ряд химических изменений, одним из которых является повышение рН белка, вызванное потерей углекислого газа через поры в яичной скорлупе [12]. Значение рН, особенно белка, может дать некоторое представление о качестве яиц [13]. Желток имеет нейтральный рН, что согласуется с исследованиями [14]. Во время хранения рН яичного желтка может изменяться в пределах 6,4-6,9. Более высокие значения рН могут быть связаны с более длительными сроками хранения. Согласно результатам эксперимента (табл. 1) рН белка всех трёх видов щелочная, наиболее щелочной является среда белка

перепелиного яйца (8,7). рН желтка всех трёх видов яиц находится на уровне нейтральной 6,08-6,54.

Химический состав яиц трёх видов птиц представлен в таблице 2. Утиный белок состоит почти на 86,0% из воды, 12,13% белка и 0,73% золы, и его химический состав отличается от куриного и перепелиного яйца. Куриный белок имеет несколько более низкое содержание белка в сравнении с утиным и аналогичен химическому составу перепелиного яйца. В утином белке определено незначительное содержание жира, что составляет 0,03%.

Согласно данным приведённым в таблице 2 наибольшее содержание влаги определено в белке куриного яйца и составляет 87,7%. Исследованиями [15] установлено, что количество липидов в белке незначительно, тогда как желток напротив богат белком и высоким содержанием липидов. Золы в яичном желтке больше чем в белке.

Таблица 2 – Общий химический состав яиц, %

Наименование	Вода	Белок	Липиды	Зола
Куриное яйцо				
Белок	87,7±0,124	10,63±0,205	-	0,87±0,030
Желток	48,8±0,169	16,6±0,205	32,33±0,309	0,99±0,008
Утиное яйцо				
Белок	86,0±0,082	11,53±0,205	0,03±0,002	0,73±0,016
Желток	44,6±0,249	14,5±0,244	36,79±0,085	1,66±0,205
Перепелиное яйцо				
Белок	87,2±0,286	10,43±0,124	-	0,78±0,016
Желток	47,7±0,368	16,03±0,205	31,6±0,169	1,82±0,024

В проведённых нами исследованиях установлено, что в курином и перепелином белке не обнаружено содержание липидов. Наибольшим содержанием липидов обладает желток утиного яйца, что составляет 36,79%. Наибольшее содержание золы обнаружено в желтке перепелиных яиц и составляет 1,82%.

#### Обсуждение научных результатов

Проведёнными исследованиями установлено, что изучаемые яйца имеют различные качественные и химические характеристики, которые зависят от видовой принадлежности.

В результате проведенных исследований определена масса изучаемых яиц, которая напрямую зависит от вида птицы. Наибольшей плотностью обладают куриные яйца (1,085 г/мл). Кислотность белка у всех видов яиц представлена щелочной средой, тогда как желток имеет нейтральный уровень рН.

Наибольшее содержание воды определено в курином белке (87,7%). По содержанию белка преобладает куриный желток, который содержит 16,6% белка затем в порядке убывания следует перепелиный и утиный желток. Наибольшее содержание липидов обнаружено в утином желтке (36,79%) далее следует куриный (32,33%) и перепелиный (31,6%) желток. Наибольшее содержание зольности установлено в перепелином желтке (1,82%) затем следует утиный желток (1,66%) и куриный желток (0,99%).

Дальнейшее исследование будут заключаться в разработке яичных продуктов из изучаемого сырья.

#### Заключение

Таким образом, результаты исследований показали, что качественные показатели и химический состав яиц варьирует в зависимости от вида. Если одни виды имеют большое содержание белка, то другие не менее ценный состав липидов. Так наиболее широким комплексом белкового состава обладают куриные яйца, а утиные яйца обладают высоким содержанием липидов. Судя по высокому составу золы у перепелиных яиц богатый минеральный состав. Тем не менее, практически все виды исследуемых яиц могут служить источником ценных питательных веществ.

#### Список литературы

1. Abeyrathne E.D.N.S. Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents – A review // E.D.N.S. Abeyrathne, H.Y. Lee, D.U. Ahn // Poultry science. – 2013. – Т. 92, № 12. – С. 3292-3299.

2. Gutierrez M.A. Nutritive evaluation of hen eggs // M.A. Gutierrez, H. Takahashi, L.R. Juneja // Hen eggs. CRC Press. – 2018. – P. 25-35.
3. General chemical composition of hen eggs / H. Sugino, T. Nitoda, L.R. Juneja // Hen eggs. CRC press. – 2018. – P. 13-24.
4. Li-Chan E.C.Y. The chemistry of eggs and egg products / E.C.Y. Li-Chan, W.D. Powrie, S. Nakai // Egg science and technology. CRC Press. –2017. – P. 105-175.
5. Isolation and purification of immunoglobulins from chicken eggs using thiophilic interaction chromatography / Hansen P. et al. // Journal of immunological methods. – 1998. – T. 215. – №. 1-2. – C. 1-7.
6. Effect of housing system and eggshell colour on biochemical and microbiological characteristics of pheasant eggs / Nowaczewski S. et al // Archiv fur Geflugelkunde. – 2013. – № 77(4). – P. 226-233.
7. Kovacs-Nolan J. Advances in the value of eggs and egg components for human health / J. Kovacs-Nolan, M. Phillips, Y. Mine // Journal of agricultural and food chemistry. – 2005. – T. 53, № 22. – P. 8421-8431.
8. Amino acid composition of hen's egg / P. Lunven et al / British Journal of Nutrition. – 1973. – T. 30, № 2. – P. 189-194.
9. Song K.T. A comparison of egg quality of pheasant, chukar, quail and guinea fowl / K.T. Song, S.H. Choi, H.R. Oh // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. – 2000. – T. 13, № 7. – P. 986-990.
10. AOAC, Official methods of analysis, 13th ed. Food composition, Additives, Natural contaminants Eggs and eggs products (chapter 24) / Association of Official Analytical Chemists, Inc. Arlington, Virginia, USA, 1990. – P. 1018.
11. ГОСТ 31469-2012. Пищевые продукты переработки яиц сельскохозяйственной птицы. Методы физико-химического анализа. – М.: Стандартинформ, 2014. – 44 с.
12. Rhim J.W. Effects of soy protein coating on shell strength and quality of shell eggs / J.W. Rhim, C.L. Weller, A. Gennadios // Food Science and Biotechnology. – 2004. – T. 13, № 4. – P. 455-459.
13. Scott T.A. The effect of storage and strain of hen on egg quality / T.A. Scott, F.G. Silversides // Poultry science. – 2000. – T. 79, № 12. – P. 1725-1729.
14. Powrie W.D. Chemistry of eggs and egg products / Egg science and technology. – 1977. – P. 65-67.
15. Kaewmanee T. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting / T. Kaewmanee, S. Benjakul, W. Visessanguan // Food Chemistry. – 2009. – T. 112, № 3. – P. 560-569.

### References

1. Abeyrathne E.D.N.S. Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents – A review // E.D.N.S. Abeyrathne, H.Y. Lee, D.U. Ahn // Poultry science. – 2013. – T. 92, № 12. – S. 3292-3299. (In English).
2. Gutierrez M.A. Nutritive evaluation of hen eggs // M.A. Gutierrez, H. Takahashi, L.R. Juneja // Hen eggs. CRC Press. – 2018. – R. 25-35. (In English).
3. General chemical composition of hen eggs / H. Sugino, T. Nitoda, L.R. Juneja // Hen eggs. CRC press. – 2018. – R. 13-24. (In English).
4. Li-Chan E.C.Y. The chemistry of eggs and egg products / E.C.Y. Li-Chan, W.D. Powrie, S. Nakai // Egg science and technology. CRC Press. –2017. – R. 105-175. (In English).
5. Isolation and purification of immunoglobulins from chicken eggs using thiophilic interaction chromatography / Hansen P. et al. // Journal of immunological methods. – 1998. – T. 215. – №. 1-2. – S. 1-7. (In English).
6. Effect of housing system and eggshell colour on biochemical and microbiological characteristics of pheasant eggs / Nowaczewski S. et al // Archiv fur Geflugelkunde. – 2013. – № 77(4). – R. 226-233. (In English).
7. Kovacs-Nolan J. Advances in the value of eggs and egg components for human health / J. Kovacs-Nolan, M. Phillips, Y. Mine // Journal of agricultural and food chemistry. – 2005. – T. 53, № 22. – R. 8421-8431. (In English).
8. Amino acid composition of hen's egg / P. Lunven et al / British Journal of Nutrition. – 1973. – T. 30, № 2. – R. 189-194. (In English).

9. Song K.T. A comparison of egg quality of pheasant, chukar, quail and guinea fowl / K.T. Song, S.H. Choi, H.R. Oh // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. – 2000. – Т. 13, № 7. – Р. 986-990. (In English).
10. AOAC, Official methods of analysis, 13th ed. Food composition, Additives, Natural contaminants Eggs and eggs products (chapter 24) / Association of Official Analytical Chemists, Inc. Arlington, Virginia, USA, 1990. – Р. 1018. (In English).
11. GOST 31469-2012. Pishchevye produkty pererabotki yaits sel'skokhozyaistvennoi ptitsy. Metody fiziko-khimicheskogo analiza. – М.: Standartinform, 2014. – 44 s. (In Russian).
12. Rhim J.W. Effects of soy protein coating on shell strength and quality of shell eggs / J.W. Rhim, C.L. Weller, A. Gennadios // Food Science and Biotechnology. – 2004. – Т. 13, № 4. – Р. 455-459.
13. Scott T.A. The effect of storage and strain of hen on egg quality / T.A. Scott, F.G. Silversides // Poultry science. – 2000. – Т. 79, № 12. – Р. 1725-1729. (In English).
14. Powrie W.D. Chemistry of eggs and egg products / Egg science and technology. – 1977. – Р. 65-67. (In English).
15. Kaewmanee T. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting / T. Kaewmanee, S. Benjakul, W. Visessanguan // Food Chemistry. – 2009. – Т. 112, № 3. – Р. 560-569. (In English).

### **Информация о финансировании**

*Данное исследование было профинансировано Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан «BR 21882327 – Разработка новых технологий органического производства и переработки сельскохозяйственной продукции».*

**С.Г. Каманова<sup>1</sup>, Л.А. Мурат<sup>1</sup>, Ә.И. Есенжан<sup>1</sup>, С.А. Садуакасова<sup>1</sup>, Г.Х. Оспанкулова<sup>†</sup>**

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жеңіс даңғылы 62

\*e-mail: bulashevag@mail.ru

### **АЗЫҚ ЖҰМЫРТҚАСЫНЫҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ СИПАТТАМАСЫ**

*Әлемде ең көп тұтынылатын құс жұмыртқасы тауық пен үйрек жұмыртқасы болып табылады. Жұмыртқа құрамында барлық маңызды аминқышқылдары бар, бұл оларды толық ақуыздың тамаша көзі етеді. Тауық пен үйрек жұмыртқасының ақуыздары құрамы жағынан ұқсас және көптеген функционалдық қасиеттерге ие.*

*Бұл жұмыстың мақсаты – Қазақстанда өндірілетін әртүрлі типтегі коммерциялық қолжетімді жұмыртқалардың химиялық құрамы мен сапалық сипаттамаларын салыстырмалы түрде сипаттау. Жұмыста анықтаудың жалпы қабылданған химиялық және физикалық әдістері қолданылды, нәтижесінде жұмыртқаның барлық түрлері сапалық сипаттамалары мен химиялық құрамы бойынша ерекшеленетіні анықталды. Жүргізілген тәжірибелер үйрек жұмыртқасының ең үлкен массасы (79,49 г) екенін анықтады. Жұмыртқаның ақуызында сілтілі рН, ал сарысында бейтарап рН бар. Ең көп су мөлшері тауық ақуызында (87,7%), липидті үйрек жұмыртқасында – 36,79%, күлділігі бөдене жұмыртқасында – 1,8 г тең.*

*Зерттеу нәтижелері стандарт талаптарына сәйкес келетін шикізаттан жұмыртқа өнімдерін жасауда қолданылады.*

**Түйін сөздер:** *үйрек жұмыртқасы, тауық жұмыртқасы, бөдене жұмыртқасы, сапа сипаттамалары, химиялық құрамы, жұмыртқаның ақтығы, жұмыртқа сарысы.*

**S. Kamanova<sup>1</sup>, L. Murat<sup>1</sup>, A. Yessenzhan<sup>1</sup>, S. Saduakhasova<sup>1</sup>, G. Ospankulova<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,

010000, Republic of Kazakhstan, Astana Zhenis ave., 62

\*e-mail: bulashevag@mail.ru

### **COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF FOOD EGGS**

*The most commonly consumed poultry eggs in the world are chicken and duck eggs. Eggs contain all the essential amino acids, making them an excellent source of complete protein. Egg whites, both chicken and duck, are similar in composition and have many functional properties.*

*The purpose of this work is to comparatively characterize the chemical composition and quality characteristics of commercially available eggs of various types produced in Kazakhstan. The work used*



generally accepted chemical and physical methods of determination, as a result of which it was established that all types of eggs differ in quality characteristics and chemical composition. The experiments carried out established that duck eggs have the largest mass (79.49 g). Egg white has an alkaline pH, while the yolk has a neutral pH. The highest water content is found in chicken protein (87.7%), duck eggs have a high lipid content - 36.79%, and the highest ash content in quail eggs – 1.8 g.

The results of the research will be used in the development of egg products from raw materials that must meet the requirements of the standard.

**Key words:** duck egg; chicken egg; quail egg; quality characteristics; chemical composition; egg white; egg yolk.

#### Сведения об авторах

**Светлана Георгиевна Каманова** – магистр технических наук; Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

**Линара Азаматқызы Мурат** – магистр технических наук; Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: marat-muratkhan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5684-0621>.

**Әділ Ибрағимұлы Есенжан** – бакалавр «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции»; Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: ad241099@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3277-2995>.

**Сауле Абдухаповна Садуақасова** – кандидат биологических наук, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: saule\_aru@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-5732>.

**Гульназым Хамитовна Оспанкулова\*** – кандидат биологических наук; Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Светлана Георгиевна Каманова** – техника ғылымдарының магистрі; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

**Линара Азаматқызы Мурат** – техника ғылымдарының магистрі; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: marat-muratkhan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5684-0621>.

**Ибрағимұлы Есенжан Әділ** – «Ауыл шаруашылығы өнімдерін өндіру және қайта өңдеу технологиясы» бакалавры; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: ad241099@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3277-2995>.

**Сауле Абдухаповна Садуақасова** – биология ғылымдарының кандидаты; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: saule\_aru@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-5732>.

**Гульназым Хамитовна Оспанкулова\*** – биология ғылымдарының кандидаты; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

#### Information about the authors

**Svetlana Kamanova** – master of technical sciences; Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

**Linara Murat** – master of technical sciences; Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: marat-muratkhan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5684-0621>.

**Yessenzhan Adil** – Bachelor's degree in Technology of production and processing of agricultural products; Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: ad241099@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3277-2995>.

**Saule Saduakhasova** – Candidate of Biological Sciences; Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: saule\_aru@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-5732>.

**Gulnazim Ospankulova\*** – Candidate of Biological Sciences; Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

Поступила в редакцию 24.06.2024  
Поступила после доработки 29.06.2024  
Принята к публикации 01.07.2024

**Qianyi Tian\*, Lei Deng, Mi Yin, Yahong Wei**  
College of Life Sciences, Northwest A&F University,  
712100, P.R. China, Yangling, Shaanxi, 22 Xinong Road  
\*e-mail: 1070567104@qq.com

## ISOLATION AND IDENTIFICATION OF LIGNIN-DEGRADING BACTERIAL STRAINS

**Abstract:** Screening bacterial strains with lignin-degrading ability is very necessary for processing agricultural and forestry waste. In this experiment, we collected soil samples from the Qinling Mountains in China and isolated 99 bacterial strains. Further, 18 strains of bacteria were screened out using alkaline lignin solid medium and cultured at 30°C for 48 hours, and they were molecularly identified. After that, lignin liquid culture medium was used for shake flask culture, and a microplate reader was used to measure the absorbance changes of lignin at visible light at 280 nm before and after culture. A total of 12 strains of bacteria with lignin degradation ability were screened out, respectively. For QL-D3, QL-D5, QL-D6, QL -D7, QL-D8, QL-D9, QL-D11, QL-D13, QL-D14, QL-D16, QL-D17, QL -D18. Their lignin degradation rates after culturing in lignin 1,5 g/L liquid medium for 7 days were 13,01%, 16,76%, 10,48%, 23,3%, 6,88%, 12,48%, 22,07%, 11,84%, 18,62%, 17,88%, 13,95%, 16,28% respectively. Scanning electron microscopy was used to observe the morphology of the two bacterial strains QL-D7 and QL-D11 with the highest lignin degradation rate.

**Key words:** Screening bacterial strains, lignin-degradation, medium culture, lignin-degrading rate, morphology observation.

### Introduction

Lignocellulose is a polymer compound present in plants, mainly composed of three substances: cellulose, hemicellulose and lignin [7]. Cellulose is composed of microfibrils that form the network skeleton of fiber cell walls, while lignin and hemicellulose play the role of filling and binding [23]. Lignin has functions such as moisture transport, mechanical support and resistance to biological decomposition. It is estimated that approximately 25% of the biomass fixed by plants through photosynthesis each year is ultimately converted into lignin through secondary metabolism. It is the most abundant aromatic compound in nature and the most abundant renewable carbon source on earth after cellulose [19].

Under natural conditions, lignin is difficult to degrade, which has become the main factor limiting the utilization of lignin. Traditional methods attempt to break the polymeric structure of lignin using high-temperature and high-pressure steam treatment, but this is a highly energy-consuming method. It was noted that in China, 216 million tons of the above-mentioned biomass are produced annually, but the fact that more than half of the remainder is not utilized indicates the need to implement advanced treatment strategies [1]. Therefore, it is necessary to find environmentally friendly ways to process lignin. In the natural environment, there are microorganisms that can degrade lignin. Common fungi that can degrade lignin mainly include brown rot fungi, soft rot fungi, white rot fungi, litter decomposing fungi and microfungi. These fungi can effectively degrade lignin components and convert them into small molecular organic matter to enter the energy cycle. Therefore they are often used as model microorganisms for lignin degradation [4, 5, 8]. However, studies have shown that bacteria that can degrade lignin also exist in nature. Masai et al. completed the whole genome sequencing of the bacterium *Sphingomonas paucimobilis* SYK-6 isolated from the soil, cloned more than 20 lignin degradation-related genes, and constructed a relatively complete lignin degradation metabolic pathway [14]. Compared with eukaryotes, prokaryotes have the advantages of shorter growth cycles, easier growth control, and more convenient molecular manipulation, making bacteria more suitable for industrial production. Therefore, finding bacteria that can degrade lignin in nature for the utilization of lignin is very meaningful.

Various microorganisms live together in nature. Soil is the home base of microbial life, and many valuable strains can be isolated from it [25]. To study the characteristics of a certain microorganism, the microorganism must first be kept in a pure culture state. The process of obtaining only a certain strain of microorganisms from a mixed population of microorganisms is called the separation and purification of microorganisms [6].

This study is dedicated to finding bacteria that can degrade lignin in the natural environment, and to detect their growth and lignin degradation efficiency when cultured in liquid shake flasks, and molecular identification by 16SrDNA comparison. The strains with higher degradation efficiency were observed under a scanning electron microscope (SEM). A batch of lignin-degrading strains were obtained through the above method, which provides more options for bacterial degradation of lignin and creates a basis for further research.

## **Methodology**

### **1. Isolation and purification of microorganisms**

Soil samples were collected from Qinling Mountains, China. Add 10 g of soil sample to 90 mL of deionized water, shake and mix, and record it as  $10^{-1}$  g/mL. Add 1 mL of the above soil dilution to 10 mL of deionized water and record it as  $10^{-2}$  g/mL. Repeat this step until the dilution reaches  $10^{-8}$  g/mL. Take 0.5 mL of the soil suspension with dilutions of  $10^{-6}$  g/mL,  $10^{-7}$  g/mL, and  $10^{-8}$  g/mL and spread it evenly on the LB medium with a spreader [2]. Cultivate in a constant temperature incubator at 30°C for 48 hours. Use an inoculation loop to pick single colonies of different shapes, inoculate them into liquid LB culture medium, place them in a shaker (200 rpm/s), and culture at 30°C to the logarithmic growth phase ( $OD_{600}=0,8$ ). Pipette 0.5 mL of bacterial suspension and mix 1:1 with 50% glycerol, and store in a -80°C refrigerator for later use [18]. All the reagents and tools used above were sterilized by high temperature and high pressure with 121°C, 20 mins [3].

### **2. Identification of lignin degradation ability**

Culturing bacteria on a single carbon source to obtain bacterial strains that can utilize it is a common method to obtain bacteria that can degrade that carbon source [9]. Here, we used alkaline lignin as a single carbon source configuration solid medium to screen bacterial strains that can degrade lignin. Afterwards, alkaline lignin was used to prepare a liquid medium for culture, and its ability to degrade lignin was measured quantitatively.

Lignin has strong absorption near 280 nm, followed by 210 nm, and weak absorption near 230 nm and 320 nm. Among them, 210 nm is the absorption band of the conjugated olefin bond, and 280 nm is the absorption band caused by the unsubstitutable m-position in the aromatic ring. This absorption value basically follows Lambert-Beer's law, so 280 nm can be selected as the wavelength for quantitative determination of lignin [11].

In order to understand the relationship between absorbance and unit lignin concentration, we configured a standard concentration lignin solution and fitted it linearly. By fitting the results, we can determine that the lignin concentration is proportional to the absorbance under visible light at 280 nm. All samples were measured after dilution tenfold. The lignin concentration in the culture medium under initial conditions is marked as A, and after culture, it is marked as B. The lignin degradation rate is calculated using the following equation:

$$\text{lignin degradation rate (\%)} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\%$$

Under initial conditions, the lignin concentration in the culture medium was 1,5g/L, 100mL. After the bacteria were cultured to the logarithmic growth phase ( $OD_{600}=0,8$ ), they were inoculated into the lignin medium, and the bacterial inoculation amount was 1% of the volume, Culture for 7 days. All samples were tested after being diluted ten times. Mix well before detection, pipette 200 $\mu$ L and drop into the sample well. All samples repeated at least 3 times.

All the above absorbance values were measured by one microplate reader (TECAN. Infinite M 200PRO).

The culture media used in this experiment are as follows:

(1) Strain activation medium: LB medium (peptone 10 g/L, yeast powder 5 g/L, NaCl 10 g/L pH 7,0-7,2).

(2) Liquid lignin culture medium (add 1,5% agar (m/V) to solid): 1,5 g/L alkaline lignin,  $K_2HPO_4$  0,1 g/L,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  0,01 g/L,  $CaCl_2$  0,008 g/L,  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  0,005 g/L,  $MnCl_2$  0,002 g/L, peptone 0,2g/L, pH 7,0.

### **3. Strain species identification**

Colony PCR does not require extraction of target gene DNA or enzyme digestion for identification. Instead, it directly uses the DNA exposed after pyrolysis of the bacteria as a template for PCR amplification, saving time and effort. It is recommended to use universal primers on the vector to screen for positive clones. This PCR method is usually used to screen the inserted target gene or DNA sequencing analysis. The final PCR product size is the fragment size between the universal primers of the vector [15].

The target gene (16SrDNA) was amplified by colony PCR, and universal primers (27 F: 5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3' and 1492 R: 5'-GGTTACCTTCTTACGACTT-3') were used to amplify 16SrDNA [16, 24], Primers were synthesized by Sangon Bioengineering (Shanghai) Co., Ltd. sent to the company (Sangon Bioengineering (Shanghai) Co., Ltd.) for sequencing, and the sequencing results were compared in the GenBank(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) database and EzBioCloud (<https://www.ezbiocloud.net/>).

#### 4. Morphological observation of bacterial strains

Scanning electron microscopy (SEM) is often used to observe the surface morphology of objects. Culture the bacteria in liquid LB medium to logarithmic growth phase ( $OD_{600}=0.8$ ), and collect the cells by centrifugation (6000 rpm, 3 min). After adding physiological saline to resuspend, centrifuge again and repeat three times. The collected bacteria were dehydrated step by step using 30%, 50%, 70%, 80%, 90%, and 100% ethanol. Then they were fixed with glutaraldehyde for 2 h. The prepared samples were evenly spread on silicon wafers and freeze-dried overnight. After gold spraying, observing with a scanning electron microscope (FEI. Nova Nano SEM-450).

#### Result:

##### 1. Lignin-degrading strains

We isolated 99 strains from soil samples, inoculated these strains into alkaline lignin medium, and cultured them in a 30°C constant-temperature incubator for 48 hours. The growth of some strains was observed. Summarize the strains that can grow, perform colony PCR on these strains to amplify their 16SrDNA fragments, and compare them in database. The results are shown in the table below:

Table 1 – Lignin-degrading strains species information

Strain number	NCBI comparison results		EzBioCloud comparison results		Strain name
	Generic name	Similarity	Generic name	Similarity	
QL-D1	Stenotrophomonas	99,79%	Stenotrophomonas	99,45%	<i>Stenotrophomonas rhizophila</i> QL-D1
QL-D2	Pseudomonas	99,93%	Pseudomonas	99,16%	<i>Pseudomonas sp.</i> QL-D2
QL-D3	Arthrobacter	98,37%	Arthrobacter	99,71%	<i>Arthrobacter sp.</i> QL-D3
QL-D4	Pseudomonas	99,50%	Pseudomonas	99,44%	<i>Pseudomonas sp.</i> QL-D4
QL-D5	Pseudomonas	99,72%	Pseudomonas	99,68%	<i>Pseudomonas sp.</i> QL-D5
QL-D6	Pseudomonas	99,86%	Pseudomonas	99,51%	<i>Pseudomonas sp.</i> QL-D6
QL-D7	Pseudomonas	99,65%	Pseudomonas	99,44%	<i>Pseudomonas sp.</i> QL-D7
QL-D8	Providencia	99,23%	Providencia	98,82%	<i>Providencia sp.</i> QL-D8
QL-D9	Pseudomonas	99,51%	Pseudomonas	99,68%	<i>Pseudomonas sp.</i> QL-D9
QL-D10	Pseudomonas	99,58%	Pseudomonas	99,68%	<i>Pseudomonas sp.</i> QL-D10
QL-D11	Raoultella	99,86%	Raoultella	99,16%	<i>Raoultella sp.</i> QL-D11
QL-D12	Pseudomonas	99,44%	Pseudomonas	99,24%	<i>Pseudomonas sp.</i> QL-D12
QL-D13	Pseudomonas	99,79%	Pseudomonas	99,65%	<i>Pseudomonas sp.</i> QL-D13
QL-D14	Pseudomonas	99,65%	Pseudomonas	99,44%	<i>Pseudomonas sp.</i> QL-D14
QL-D15	Peribacillus	99,58%	Peribacillus	99,24%	<i>Peribacillus sp.</i> QL-D15
QL-D16	Priestia	99,86%	Priestia	99,72%	<i>Priestia sp.</i> QL-D16
QL-D17	Bacillus	99,66%	Bacillus	99,45%	<i>Bacillus sp.</i> QL-D17
QL-D18	Staphylococcus	99,72%	Staphylococcus	99,17%	<i>Staphylococcus sp.</i> QL-D18

The above strain species information has been uploaded to the NCBI 16SrDNA database, and the accession number is as shown below

SUB13852066 QL-D1 OR574220, SUB13852066 QL-D2 OR574221, SUB13852066 QL-D3 OR574222, SUB13852066 QL-D4 OR574223, SUB13852066 QL-D5 OR574224, SUB13852066 QL-D6 OR574225, SUB13852066 QL-D7 OR574226, SUB13852066 QL-D8 OR574227, SUB13852066 QL-D9 OR574228, SUB13852066 QL-D10 OR574229, SUB13852066 QL-D11 OR574230, SUB13852066 QL-D12 OR574231, SUB13852066 QL-D13 OR574232, SUB13852066 QL-D14 OR574233, SUB13852066 QL-D15 OR574234, SUB13852066 QL-D16 OR574235, SUB13852066 QL-D17 OR574236, SUB13852066 QL-D18 OR574237.

##### 1. Lignin degradation rate

###### 1.1 Lignin concentration standard curve

The lignin concentration standard curve is shown in the Figure 1:

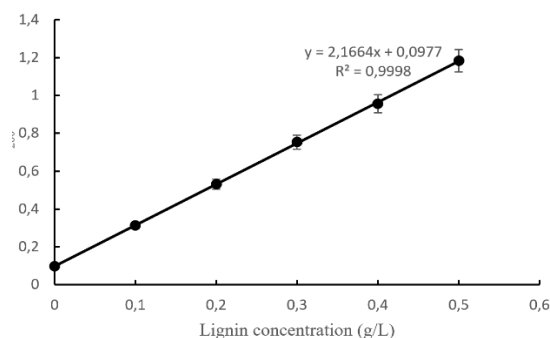


Figure 1 – Lignin concentration standard curve

## 1.2 Different strain's lignin-degrading rate

The lignin degradation rates of different strains are shown in the Table 2.

Table 2 – Strain's lignin-degrading rate

Strain name	lignin-degrading rate
<i>Stenotrophomonas rhizophila</i> QL-D1	0,62%
<i>Pseudomonas</i> sp. QL-D2	0,59%
<i>Arthrobacter</i> sp. QL-D3	13,01%
<i>Pseudomonas</i> sp. QL-D4	4,76%
<i>Pseudomonas</i> sp. QL-D5	16,76%
<i>Pseudomonas</i> sp. QL-D6	10,48%
<i>Pseudomonas</i> sp. QL-D7	23,3%
<i>Providencia</i> sp. QL-D8	6,88%
<i>Pseudomonas</i> sp. QL-D9	12,48%
<i>Pseudomonas</i> sp. QL-D10	3,17%
<i>Raoultella</i> sp. QL-D11	22,07%
<i>Pseudomonas</i> sp. QL-D12	0,57%
<i>Pseudomonas</i> sp. QL-D13	11,84%
<i>Pseudomonas</i> sp. QL-D14	18,62%
<i>Peribacillus</i> sp. QL-D15	4,47%
<i>Priestia</i> sp. QL-D16	17,88%
<i>Bacillus</i> sp. QL-D17	13,95%
<i>Staphylococcus</i> sp. QL-18	16,28%

## 2. Morphological observation of bacterial strains

As it is shown in table 2., We believe that QL-D11 and QL-D7 have application potential, so we conducted morphological observations on these two strains (Figure 2).

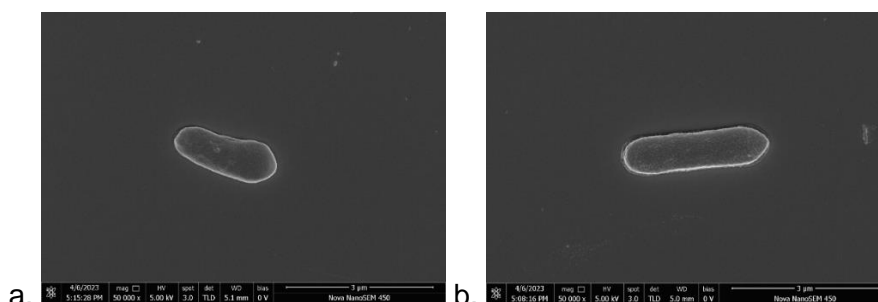


Figure 2 – Morphological observation of bacterial strains a. QL-D11 and b. QL-D7

## Discussion:

In this experiment, a total of 18 strains that could grow using lignin as the sole carbon source were screened out using a lignin solid medium coating experiment. However, in subsequent shake flask culture experiments, we observed that strains with strain numbers QL-D1, QL-D2, QL-D4, QL-D10, QL-12 and QL-D15 had almost no lignin degradation ability. Their lignin degradation rates in averages were all less than 5%, we can almost consider them to be in the same interval. It can be considered that this difference in readings is due to the fluctuation of the measuring instrument itself. It is speculated that the reason for this phenomenon is that the bacterial cells themselves store a

small amount of nutrients when expanding the culture using LB liquid medium [21, 22]. As a result, bacterial strains can grow in a short time and in a small area after being inoculated on lignin solid medium. The authors included these bacteria in the initial 18 strains out of caution, but in subsequent experiments, we determined that these strains did not have lignin-degrading ability. Therefore, liquid shake flask culture is very meaningful for screening lignin-degrading strains.

Among the bacterial strains possessing lignin-degrading ability, we identified *Pseudomonas* sp. There have been many reports showing the lignin degradation ability of *Pseudomonas* [12, 13, 17], which is consistent with our research results. At the same time, we rarely observed the degradation of lignin by *Raoultella* species, and there are few reports on lignin degradation by *Raoultella* species. At the same time, we also observed *Bacillus*, which is also a bacterium that is often reported to have lignin-degrading ability [20].

Among the existing lignin degradation model strains, many have a lignin degradation rate greater than 20% [10, 17]. Therefore, we believe that the lignin degradation rate should be greater than 20% when screening bacteria with application potential. In this experiment, only QL-D7 and QL-D11 met this condition, so we believe that it is necessary to continue studying these two strains of bacteria.

### Conclusion:

This experiment screened out QL-D3, QL-D5, QL-D6, QL-D7, QL-D8, QL-D9, QL-D11, QL-D13, QL-D14, QL-D16, QL-D17, QL-D18 has a total of 12 lignin-degrading strains. Among them, QL-D7 and QL-D11 have the highest degradation rates, 23.3% and 22.07% respectively. We performed morphological observations under a scanning electron microscope. Further research on these two strains of bacteria is planned.

### Reference

1. Pretreatment methods of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion / F.R. Amin et al. // AMB Expr. – 2017. – № 7. – P. 72. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0375-4>.
2. Bakken LR. Separation and Purification of Bacteria from Soil / L.R. Bakken // Appl Environ Microbiol. – 1985. – P. 49. DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.49.6.1482-1487>.
3. An overview of the validation approach for moist heat sterilization / B.M. Boca et al // part I[J]. Pharmaceutical technology. – 2002. – № 26(9). – P. 62-71.
4. Buta J.G. FT-IR determination of lignin degradation in wheat straw by white rot fungus *Stropharia rugosoannulata* with different oxygen concentrations / J.G. Buta, F. Zadrazil, G.C. Galletti // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 1989. – № 37(5). – P. 1382-1384. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf00089a038>.
5. Crawford D.L. Microbial degradation of lignin / D.L. Crawford, R.L. Crawford // Enzyme and Microbial Technology. – 1980. – № 2(1). – P. 11-22. DOI: [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(80\)90003-4](https://doi.org/10.1016/0141-0229(80)90003-4).
6. Daeschel M.A. Achieving pure culture cucumber fermentations: a review / M.A. Daeschel, H.P. Fleming // Developments in industrial microbiology. – 1987. – № 28. – P. 141-148.
7. El-Mossalamy E.H. The role of natural biological macromolecules: Deoxyribonucleic and ribonucleic acids in the formulation of new stable charge transfer complexes of thiophene Schiff bases for various life applications / E.H. El-Mossalamy, M.E.L. Batouti, H.A. Fetouh // Int J Biol Macromol. – 2021. – № 193. – P. 1572-1586. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.220>.
8. Lignin degradation: microorganisms, enzymes involved, genomes analysis and evolution / Grzegorz J. et al // FEMS Microbiology Reviews. – № 6. – P. 941-962. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsre/fux049>.
9. Isolation and characterization of lignin-degrading bacteria from rainforest soils / X.-F. Huang et al // Biotechnol. Bioeng. – 2013. – № 110. – P. 1616-1626. DOI: <https://doi.org/10.1002/bit.24833>.
10. Islam M. Fungal treatment of mature landfill leachate utilizing woodchips and wheat-straw as co-substrates / M. Islam, Q. Yuan // Biodegradation. – 2020. – № 31. – P. 109-122. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10532-020-09897-9>.
11. Janshekar H. Determination of biodegraded lignin by ultraviolet spectrophotometry / H. Janshekar, C. Brown, A. Fiechter // Analytica Chimica Acta. – 1981. – Vol. 130, Issue 1. – P. 81-91. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(01\)84153-2](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(01)84153-2).

12. Lignin catabolic pathways reveal unique characteristics of dye-decolorizing peroxidases in *Pseudomonas putida* / L. Lin et al // *Environmental Microbiology*. – 2019. – № 21(5). DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14593>.
13. Lignin valorization through integrated biological funneling and chemical catalysis / J.G. Linger et al *Proc Natl Acad Sci U S A*. – 2014. – Vol. 19, – № 111(33). – P. 12013-8. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1410657111>.
14. Masai E. Genetic and biochemical investigations on bacterial catabolic pathways for lignin-derived aromatic compounds / E. Masai, Y. Katayama, M. Fukuda // *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*. – 2007. – № 71(1). – P. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1271/bbb.60437>.
15. Bergkessel M. Chapter Twenty Five – Colony PCR / M. Bergkessel, C. Guthrie // Editor(s): Jon Lorsch, *Methods in Enzymology*, Academic Press. – 2013. – Vol. 529. – P. 299-309. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418687-3.00025-2>.
16. Medić A.B. *Pseudomonas* in environmental bioremediation of hydrocarbons and phenolic compounds- key catabolic degradation enzymes and new analytical platforms for comprehensive investigation / A.B. Medić, I.M. Karadžić // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. – 2022. – № 38(10). DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-022-03349-7>.
17. A novel lignin degradation bacteria-*Bacillus amyloliquefaciens* SL-7 used to degrade straw lignin efficiently / Mei J. et al // *Sensors and Actuators, B. Chemical*. – 2020. – № 310. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123445>.
18. Preservation of micro-organisms by drying; A review / C.A. Morgan et al // *Journal of Microbiological Methods*. – 2006. – Vol. 66, Issue 2. – P. 183-193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2006.02.017>.
19. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass / N. Mosier et al // *Bioresource Technology*. – 2005. – № 96(6). – P. 673-686. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.025>.
20. Tsegaye B. Biodegradation of wheat straw by *Ochrobactrum oryzae* BMP03 and *Bacillus* sp. BMP01 bacteria to enhance biofuel production by increasing total reducing sugars yield / B. Tsegaye, C. Balomajumder, P. Roy // *Environ Sci Pollut Res*. – 2018. – № 25. – P. 30585-30596. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3056-1>.
21. Synergistic function of four novel thermostable glycoside hydrolases from a long-term enriched thermophilic methanogenic digester / M. Wang et al // *Front Microbiol*. – 2015. – № 6(509). – P. 509. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00509>.
22. Response surface methodology for the mixed fungal fermentation of *Codonopsis pilosula* straw using *Trichoderma reesei* and *Coprinus comatus* / T. Wei et al // *Peer J*. – 2023. – № 11. – P. e15757. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.15757>.
23. Lignocellulosic biomass: Acid and alkaline pretreatments and their effects on biomass recalcitrance - Conventional processing and recent advances / A.L. Woiciechowski et al // *Bioresource Technology*. – 2020. – № 304. – P. 9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122848>.
24. Yadav S. Cross-reactivity of prokaryotic 16S r DNA-specific primers to eukaryotic DNA: Mistaken microbial community profiling in environmental samples / S. Yadav, A. Kumar, M. Gupta // *Curr Microbiol*. – 2018. – № 75(8). – P. 1038-1045. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00284-018-1482-4>.
25. Zuberer D.A. Recovery and Enumeration of Viable Bacteria / D.A. Zuberer // *In Methods of Soil Analysis*. – 1994. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.2.c8>.

**Цяньи Тянь\*, Лей Денг, Ми Ин, Яхонг Вэй**

Жаратылыстану ғылымдары колледжі,  
Солтүстік-Батыс ауыл шаруашылығы және орман университеті,  
712100, КНР, Янлин, Шэньси, 22 Xinong Road  
\*e-mail: 1070567104@qq.com

### **ЛИГНИНДІ ЫДЫРАТАТЫН БАКТЕРИЯЛАРДЫҢ ШТАМДАРЫН ОҚШАУЛАУ ЖӘНЕ АНЫҚТАУ**

*Лигнинді ыдырататын бактериялардың штамдарын таңдау ауыл шаруашылығы мен орман шаруашылығы қалдықтарын өңдеу үшін өте қажет. Осы эксперимент барысында біз Қытайдың Цинлин тауларынан топырақ үлгілерін жинап, бактериялардың 99 штаммын бөліп алдық. Әрі қарай, бактериялардың 18 штаммы сілтілі лигнинді қатты ортаны пайдаланып таңдалды және 30°C температурада 48 сағат бойы өсірілді, содан кейін олар молекулалық түрде анықталды. Осыдан*

кейін шайқалған колбада өсіру үшін лигнині бар сұйық культура ортасы пайдаланылды, ал өсіруден бұрын және кейін 280 нм-де көрінетін жарықта лигниннің сіңуінің өзгеруін өлшеу үшін микропластинаны оқу құралы қолданылды. Лигниннің ыдырау қабілеті бар бактериялардың жалпы 12 штаммы таңдалды. QL-D3, QL-D5, QL-D6, QL-D7, QL-D8, QL-D9, QL-D11, QL-D13, QL-D14, QL-D16, QL-D17, QL-D18 үшін. 7 күн ішінде құрамында 1,5 г/л лигнин бар сұйық ортада өсіргеннен кейін олардың лигниннің ыдырау жылдамдығы 13,01%, 16,76%, 10,48%, 23,3%, 6,88%, 12,48%, 22,07%, 11,84%, 18,62%, 17,88%, 13,95%, 16,28% тиісінше. Сканерлеуші электронды микроскопия арқылы QL-D7 және QL-D11 бактерияларының екі штаммының морфологиясы лигниннің ең жоғары ыдырау жылдамдығымен зерттелді.

**Түйін сөздер:** бактерия штаммдарының скринингі, лигниннің деградациясы, ортада өсіру, лигниннің деградация жылдамдығы, морфологияны бақылау.

**Цянь Тянь\*, Лей Денг, Ми Инь, Яхонг Вэй**

Колледж естественных наук,  
Северо-Западный университет сельского хозяйства и лесоводства,  
712100, КНР, Янлин, Шэньси, 22 Xinong Road  
\*e-mail: 1070567104@qq.com

## **ВЫДЕЛЕНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ, РАЗЛАГАЮЩИХ ЛИГНИН**

Отбор штаммов бактерий, способных расщеплять лигнин, крайне необходим для переработки отходов сельского и лесного хозяйства. В ходе этого эксперимента мы собрали образцы почвы в горах Циньлин в Китае и выделили 99 штаммов бактерий. Далее, 18 штаммов бактерий были отобраны с использованием щелочной лигниновой твердой среды и культивировались при 30°C в течение 48 часов, после чего они были молекулярно идентифицированы. После этого для культивирования во встряхиваемой колбе использовали жидкую культуральную среду с лигнином, а для измерения изменений поглощения лигнина в видимом свете при 280 нм до и после культивирования использовали считыватель микроплашетов. В общей сложности было отобрано 12 штаммов бактерий, обладающих способностью к разложению лигнина, соответственно. Для QL-D3, QL-D5, QL-D6, QL-D7, QL-D8, QL-D9, QL-D11, QL-D13, QL-D14, QL-D16, QL-D17, QL-D18. Их скорость разложения лигнина после культивирования в жидкой среде с содержанием лигнина 1,5 г/л в течение 7 дней составила 13,01%, 16,76%, 10,48%, 23,3%, 6,88%, 12,48%, 22,07%, 11,84%, 18,62%, 17,88%, 13,95%, 16,28% соответственно. С помощью сканирующей электронной микроскопии была изучена морфология двух штаммов бактерий QL-D7 и QL-D11 с наибольшей скоростью разложения лигнина.

**Ключевые слова:** скрининг штаммов бактерий, деградация лигнина, культивирование в среде, скорость деградации лигнина, наблюдение за морфологией.

### **Information about the authors**

**Qianyi Tian\*** – master of Biology and Medicine, student of the department «College of Life Sciences»; Northwest Agriculture & Forestry University, Republic of China; e-mail: 1070567104@qq.com.

**Lei Deng** – master of Biology and Medicine, student of the department «College of Life Sciences»; Northwest Agriculture & Forestry University, Republic of China; e-mail: dengl@nwfau.edu.cn.

**Mi Yin** – bachelor of the department «College of Life Sciences»; Northwest Agriculture & Forestry University, Republic of China; e-mail: 1485742629@qq.com.

**Yahong Wei** – PhD, Department of Bioengineering, College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, P. R. China; e-mail: yahongwei@nwfau.edu.cn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9533-5377>.

### **Авторлар туралы ақпарат**

**Цянь Тянь\*** – биология және медицина магистрі, «Жаратылыстану ғылымдары колледжі» бөлімінің студенті; солтүстік-батыс ауыл шаруашылығы және орман шаруашылығы университеті, Қытай; e-mail: 1070567104@qq.com.

**Лей Дэн** – биология және медицина магистрі, «Жаратылыстану ғылымдары колледжі» факультетінің студенті; солтүстік-батыс ауыл шаруашылығы және орман шаруашылығы университеті, Қытай; e-mail: dengl@nwfau.edu.cn.

**Ми Ин** – «Жаратылыстану ғылымдары колледжі» факультетінің бакалавры; солтүстік-батыс ауыл шаруашылығы және орман шаруашылығы университеті, Қытай; e-mail: 1485742629@qq.com.

**Яхонг Вэй** – PhD, биоинженерия факультеті, жаратылыстану ғылымдары колледжі, Солтүстік-Батыс университеті, ҚХР; e-mail: yahongwei@nwfau.edu.cn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9533-5377>.



### Информация об авторах

**Цяньи Тянь\*** – магистр биологии и медицины, студент отделения «Колледж естественных наук»; Северо-Западный университет сельского хозяйства и лесоводства, Китай; e-mail: 1070567104@qq.com.

**Лей Дэн** – магистр биологии и медицины, студент факультета «Колледж естественных наук»; Северо-Западный университет сельского хозяйства и лесоводства, Китай; e-mail: dengl@nwafu.edu.cn.

**Ми Инь** – бакалавр факультета «Колледж естественных наук»; Северо-Западный университет сельского хозяйства и лесоводства, Китай; e-mail: 1485742629@qq.com.

**Яхонг Вэй** – PhD, Факультет биоинженерии, Колледж естественных наук, Северо-Западный университет, КНР; e-mail: yahongwei@nwafu.edu.cn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9533-5377>.

Received 24.04.2024

Revised 10.06.2024

Accepted 26.06.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-15](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-15)



МРНТИ: 65.13.19

**Е.М. Ағзам\*, А.К. Какимов, А.Е. Еренгалиев, Н.К. Ибрагимов**

Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

\*e-mail: [ektu2009@gmail.com](mailto:ektu2009@gmail.com)

### РАЗРАБОТКА СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КУРТА

**Аннотация:** Статья посвящена разработке сушильной установки для производства курта, традиционного кисломолочного продукта, пользующегося большой популярностью в Казахстане. Курт является не только национальным продуктом, но и обладает высокой пищевой ценностью, содержанием витаминов и минералов. Регулярное употребление курта способствует восстановлению полезной микрофлоры кишечника и особенно полезно для беременных женщин, детей и пожилых людей. Традиционный способ сушки курта на открытом воздухе имеет ряд недостатков, таких как зависимость от погодных условий и низкая производительность. Разработанная конвективная сушильная установка, позволяет решить эти проблемы. Она обеспечивает равномерную и быструю сушку курта в контролируемых условиях, что повышает качество и производительность. Установку спроектирована с учетом принципов простоты в обслуживании, удобства в эксплуатации и рентабельности. Она является доступной и экономически выгодной для индивидуальных предпринимателей и малых предприятий. Доступность, цена, качество, производительность, ремонтпригодность, надежность, малый вес и мобильность оборудования делают его актуальным для развития малого бизнеса в Казахстане. В ходе работы были проведены ряд испытаний по работоспособности сушильной установки. Также был разработан эскизный чертеж, разработана сушильная установка и подобраны оптимальные рабочие параметры конструкции. Полученная сушильная установка является перспективной для внедрения в производство курта, в условиях индивидуальных и фермерских хозяйств. Она позволит повысить качество и производительность продукта, а также создать новые возможности для малого и среднего бизнеса в Казахстане. Также, такое оборудование может дать толчок местному гастрономическому туризму, который становится все более популярным видом туризма, поскольку туристы ищут уникальные и аутентичные впечатления. Предлагая туристам возможность познакомиться с местной культурой через ее кухню.

**Ключевые слова:** национальная кухня, курт, сушильная установка, кисломолочные продукты, развитие малого и среднего бизнеса, сушильное оборудование, производство курта, сушка пищевых продуктов.

### Введение

Казахстан, страна с субконтинентальным климатом [1], характеризуется значительными температурными колебаниями, особенно в северных, центральных, восточных и западных регионах. Традиционно производство национального продукта курта [2, 3], ограничивалось летними месяцами из-за невозможности сушки в зимний период. В связи с этим возникла необходимость создания рентабельного сушильного оборудования для малых и средних предприятий, которое позволило бы производить курт круглогодично и сделать его доступным

для потребителей в любое время года. Курт, любимый продукт казахстанцев всех возрастов, богат витаминами и минералами [4], является не только национальным достоянием, но и имеет потенциал для продвижения бренда Казахстана на международном рынке. Экспорт курта в страны с высокой долей населения, потребляющего кисломолочные продукты, может быть прибыльным бизнесом. В настоящее время в Казахстане существует ограниченный выбор оборудования для сушки курта [5]. Разработка новой сушильной установки будет актуальной для предпринимателей, желающих развивать малый бизнес в этой сфере. Государственная поддержка малого и среднего бизнеса, включая гранты и кредитование, создает благоприятные условия для реализации данного проекта [6]. Таким образом, разработка сушильной установки для производства курта имеет практическую значимость и будет способствовать развитию малого бизнеса, повышению качества и доступности казахстанского курта, а также продвижению национального бренда на международном рынке. Инвестиции в такие виды оборудования могут способствовать развитию гастрономического туризма [7, 8], который набирает популярность среди путешественников, стремящихся к уникальным и аутентичным впечатлениям. Предлагая туристам возможность погрузиться в местную культуру через знакомство с ее кулинарными традициями, можно привлечь больше посетителей.

К сожалению, для сушки курта не существует специализированного оборудования, поскольку этот продукт является специфическим и не знаком западному миру. Существует несколько примеров оборудования, которое было адаптировано учеными специально для сушки курта, такие как солнечная, теневая, инфракрасная и вакуумная сушка.

Для решения данной проблемы мы разработали нашу собственную конвективную сушильную установку, детали которой будут рассмотрены в последующих разделах.

#### **Экспериментальная часть**

На основе предложенного нами способа сушки мы разработали конвективное [9] сушильное оборудование для производства курта, предназначенное для малого и среднего бизнеса. В современности одним из наиболее распространенных способов сушки продуктов является конвективный метод. Он заключается в передаче тепла высушиваемому материалу с помощью тепловой энергии, передаваемой от нагретого сушильного агента – воздуха или парогазовой смеси. В данном случае мы прибегаем к использованию нагретого воздуха.

Моделирование и расчет сушильной установки являются первыми шагами в процессе внедрения ее в технологический процесс. При этом необходимо учитывать принципы проектирования оборудования [10], такие как:

- простота в обслуживании;
- удобство в эксплуатации;
- технологичность изготовления;
- надежность конструкции;
- взаимозаменяемость деталей и узлов;
- минимальная масса и габаритные размеры;
- использование экономически обоснованных материалов;
- эстетичный внешний вид;
- рентабельность;
- себестоимость.

Учет этих принципов позволит создать сушильную установку, которая будет эффективной, удобной в использовании и экономически выгодной.

Следующим этапом исследования являются лабораторные исследования оборудования, изучение процессов сушки внутри оборудования, моделирование процесса сушки, проведение необходимых опытов и нахождение оптимального варианта сушки.

На начальном этапе исследований мы разработали эскизный чертеж и выбрали оптимальные параметры оборудования. Это позволило нам создать установку с минимальной массой и высокой мобильностью.

Сушильная установка (рис 1.) содержит корпус 1, внутри которого друг над другом установлены три полки 2, рукоятку 3, регулятор температуры 4, блок вентилятора 5 с установленным с ним в одном корпусе ТЭНом, сетчатый фильтр 6, проушины 7, ножи 8, дверку 9, регулируемую решетку 10, ручку 11 и опоры 12 для размещения полок.

В качестве теплоносителя используют горячий воздух, продуваемый через вентилятор 5 и проходящий через установленный с ним в одном корпусе термоэлектронагреватель (ТЭН). Мощность ТЭНа с вентилятором составляет 3 кВт.

Металл задней части корпуса толще чем у боковых поверхностей, из-за дополнительной нагрузки создаваемой массой тэна и вентилятора.

Полки 2 выполнены из уголков из нержавеющей стали толщиной 1 мм и нержавеющей сеток с размером ячеек 2 мм и служат для размещения на них высушиваемого продукта. На чертеже (рис. 1) представлен общий вид и вид слева сушильной установки.

Полки 2 устанавливаются внутри шкафа на опорах 12.

Решетка 10 служит для регулирования выхода воздуха из сушилки и выполнена из пластмассы.

Рама корпуса 1 шкафа выполнена из 20 мм стальной профтрубы (рис. 2).

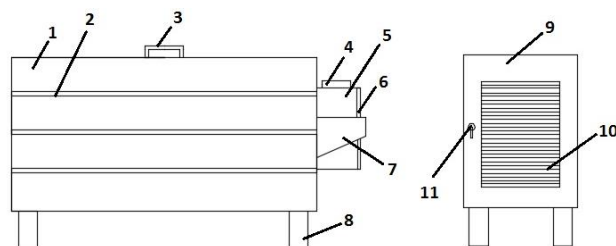


Рисунок 1 – Сушильная установка



Рисунок 2 – Рама

Боковые стенки выполнены из листа стали толщиной 1 мм.

Передняя стенка и дверца выполнены из стали толщиной 2 мм.

К передней стенке приварены две проушины на которые установлен корпус ТЭНа с вентилятором.

Рукоять для переноски шкафа выполнена из алюминия, а ножки - из стали (пустотелый цилиндр диаметром 50 мм).

Оборудование полностью покрашено со всех сторон термостойкой краской для пищевых продуктов.

На задней стенке шкафа размещен блок электронагревателя с вентилятором 5, закрепленный в корпусе 1 шкафа на проушинах 7 (рис. 3-5).

Дверца 9 шкафа содержит решетку с перфорацией, выполненной в виде отверстий произвольной формы, служащую в качестве регулятора прохода воздуха..

Шкаф для сушки пищевых продуктов работает следующим образом: высушиваемый продукт, например курт, помещают на сетчатые полки 2 (рис. 6). Закрывают дверку 9. С помощью регулятора температуры 4 производят включение блока нагревателя с вентилятором 5, задают температуру сушки.

Нагрев продукта осуществляется с помощью воздуха, равномерно нагреваемого ТЭНом в блоке с вентилятором 5. Испаряемая из продукта влага, уводится через регулируемую решетку 10.

В процессе сушки заданная температура поддерживается автоматически. По мере необходимости температуру процесса можно менять, задавая ее величину с помощью регулятора температуры 4.

Процесс сушки в предлагаемом шкафу обусловлен теплообменом между воздухом, нагреваемым с помощью термоэлектронагревателя (ТЭНа) с помощью вентилятора, а также конвекцией воздуха, уносящего испаряемую влагу через высушиваемый продукт и через регулируемую решетку.

Использование предлагаемого технического решения позволит подобрать такие режимы сушки, например температуру сушки не выше 90 С, которые обеспечивают получение высушенных продуктов высокого качества.

Углы корпуса закрыли пластиковыми угольниками для придания эстетического вида. Для циркуляции воздуха и удаления излишней влаги на дверце были установлены регулируемые решетки (рис. 7).



Рисунок 3 – Задняя часть сушилки



Рисунок 4 – Вид изнутри



Рисунок 5 – Вид корпуса



Рисунок 6 – Вид изнутри с полками



Рисунок 7 – Окончательный вид установки

Итогом проведённой работы стало достижение ключевых принципов в проектировании оборудования. Это включает в себя лёгкость в обслуживании, комфортность использования, технологическую эффективность производства, высокую надёжность конструкции, возможность замены компонентов и агрегатов, оптимизацию веса и размеров, использование экономически обоснованных материалов, а также привлекательный внешний вид.

Данная разработанная конвективная сушильная установка курта нуждается в дальнейшем исследовании. В последующих исследованиях, включая установку датчиков и микроконтроллера, разработку программного обеспечения, сбор и архивирование данных, их анализ и определение оптимального режима работы, расчёт рентабельности и себестоимости оборудования, а также сопоставление полученных данных с результатами других адаптированных устройств для сушки курта, установка обещает быть успешной.

### **Заключение**

Разработанная сушильная установка для производства курта является актуальным решением для малого и среднего бизнеса в Казахстане. Она позволяет решить проблему сезонности производства курта и обеспечить его круглогодичное потребление.

Установка спроектирована в соответствии с принципами проектирования оборудования, что обеспечивает ее простоту в обслуживании, удобство в эксплуатации, технологичность изготовления, рентабельность, надёжность конструкции и эстетичный внешний вид.

Проведенные испытания подтвердили работоспособность сушильной установки. Подана заявка на получение патента на изобретение. Дальнейшие исследования могут быть направлены на исследование и экспериментов по измерению влажности и температуры по всей рабочей зоне сушильной установки и определению оптимального параметра сушки.

Полученная сушильная установка является перспективной для внедрения в производство курта. Она позволит повысить качество и производительность продукта, а также создать новые возможности для малого и среднего бизнеса в Казахстане.

### Список литературы

1. Климатические особенности казахстана как причина проявления процессов опустынивания / А.М. Карымсаков и др. // Научно-практические исследования, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева. – г. Нур-Султан, Казахстан. – 2020 – № 8-3(31).
2. Смольникова Ф.Х. Национальный молочный продукт – курт / Ф.Х. Смольникова и др. // Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции: конф. – Краснодар, 2016. – С. 397-401.
3. Национальный молочный продукт – курт / Ш.К. Жакупбекова и др. // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2021. – № 4(4) – С. 41-43.
4. Кочкорова Ф.А. Пищевая ценность национального кисломолочного продукта курт и его место в питании подростков Кыргызской Республики / Ф.А. Кочкорова, Г.С. Китарова // Вопросы питания. – 2021. – Т 90, № 5. – С. 87-95. URL: [https://www.voprosy-pitaniya.ru/ru/jarticles\\_diet/918.html?SSr=090134655313ffffff27c\\_\\_07e50a1b0d090a-3d43](https://www.voprosy-pitaniya.ru/ru/jarticles_diet/918.html?SSr=090134655313ffffff27c__07e50a1b0d090a-3d43).
5. Инновационные технологии в производстве курта / Л.В. Голубева и др. // Пищевая промышленность. – 2018. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-v-proizvodstve-kurta>.
6. Елшибаев Р.К. Современное состояние и направления развития малого и среднего бизнеса Республики Казахстан. / Р.К. Елшибаев // Вестник университета «Туран». – 2021. – № 1. – С. 84-90. – URL: <https://vestnik.turan-edu.kz/jour/article/view/1631>.
7. Gheorghe G. Gastronomic tourism, a new trend for contemporary tourism? / Gheorghe G., Tudorache P., Nistoreanu P. // Bucharest University of Economic Studies, Bucharest, Romania Cactus Tourism Journal / 2014. – Vol. 9, Issue 1. – P. 12-21.
8. Privitera D. Gastronomic and food tourism as an economic local resource: case studies from Romania and Italy / D. Privitera, A. Nedelcu, V. Nicula // GeoJournal of Tourism and Geosites. – 2018. – № 1, vol. 21. – P. 143-157.
9. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов / А.С. Гинзбург. – Москва: Пищевая промышленность, 1973. – 287 с.
10. Соколов В.И. Основы расчёта и конструирования машин и аппаратов пищевых производств / В.И. Соколов. – Москва: Колос, 1992. – 9 с.

### References

1. Klimaticheskie osobennosti kazakhstanana kak prichina proyavleniya protsessov opustynivaniya / A.M. Karymsakov i dr. // Nauchno-prakticheskie issledovaniya, Evraziiskii natsional'nyi universitet im. L.N. Gumileva, – g. Nur-Sultan, Kazakhstan, – 2020 – № 8-3(31). (In Russian).
2. Smol'nikova F.KH. Natsional'nyi molochnyi produkt – курт / F.KH. Smol'nikova i dr. // Nauchnoe obespechenie innovatsionnykh tekhnologii proizvodstva i khraneniya sel'skokhozyaistvennoi i pishchevoi produktsii: konf. – Krasnodar, 2016. – S. 397-401. (In Russian).
3. Natsional'nyi molochnyi produkt – курт / SH.K. Zhakupbekova i dr. // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2021. – № 4(4) – S. 41-43. (In Russian).
4. Kochkorova F.A. Pishhevaya tsennost' natsional'nogo kislomolochnogo produkta kurut i ego mesto v pitanii podrostkov Kyrgyzskoi Respubliki / F.A. Kochkorova, G.S. Kitarova // Voprosy pitaniya. – 2021. – Т 90, № 5. – S. 87-95. – URL: [https://www.voprosy-pitaniya.ru/ru/jarticles\\_diet/918.html?SSr=090134655313ffffff27c\\_\\_07e50a1b0d090a-3d43](https://www.voprosy-pitaniya.ru/ru/jarticles_diet/918.html?SSr=090134655313ffffff27c__07e50a1b0d090a-3d43). (In Russian).
5. Innovatsionnye tekhnologii v proizvodstve kurta / L.V. Golubeva i dr. // Pishhevaya promyshlennost'. – 2018. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-v-proizvodstve-kurta>. (In Russian).
6. Elshibaev R.K. Sovremennoe sostoyanie i napravleniya razvitiya malogo i srednego biznesa Respubliki Kazakhstan. / R.K. Elshibaev // Vestnik universiteta «TuraN». – 2021. – № 1. – С. 84-90. – URL: <https://vestnik.turan-edu.kz/jour/article/view/1631>. (In Russian).

7. Gheorghe G. Gastronomic tourism, a new trend for contemporary tourism? / Gheorghe G., Tudorache P., Nistoreanu P. // Bucharest University of Economic Studies, Bucharest, Romania Cactus Tourism Journal / 2014. – Vol. 9, Issue 1. – P. 12-21. (In English).
8. Privitera D. Gastronomic and food tourism as an economic local resource: case studies from Romania and Italy / D. Privitera, A. Nedelcu, V. Nicula // GeoJournal of Tourism and Geosites. – 2018. – № 1, vol. 21. – R. 143-157. (In English).
9. Ginzburg A.S. Osnovy teorii i tekhniki sushki pishchevykh produktov / A.S. Ginzburg. – Moskva: Pishchevaya promyshlennost', 1973. – 287 s. (In Russian).
10. Sokolov V.I. Osnovy rascheta i konstruirovaniya mashin i apparatov pishchevykh proizvodstv / V.I. Sokolov. – Moskva: Kolos, 1992. – 9 s. (In Russian).

**Е.М. Ағзам\*, А.К. Кәкімов, А.Е. Ергалиев, Н.К. Ибрагимов**

Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А  
\*e-mail: ektu2009@gmail.com

### **КУРТ ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН КЕПТІРУ ҚОНДЫРҒЫСЫН ӨЗІРЛЕУ**

*Мақала Қазақстанда өте танымал дәстүрлі ашытылған сүт өнімі құртты өндіретін кептіру зауытын дамытуға арналған. Құрт ұлттық өнім ғана емес, сонымен қатар тағамдық құндылығы, дәрумені мен минералдылығы жоғары. Құртты үнемі тұтыну пайдалы ішек микрофлорасын қалпына келтіруге көмектеседі және әсіресе жүкті әйелдерге, балалар мен қарт адамдарға пайдалы. Құртты ашық ауада кептірудің дәстүрлі әдісінің ауа райы жағдайына тәуелділігі және өнімділігі төмендігі сияқты бірнеше кемшіліктері бар. Жасалған конвективті кептіру қондырғысы осы мәселелерді шешуге мүмкіндік береді. Ол бақыланатын жағдайларда құрттың біркелкі және тез кептірілуін қамтамасыз етеді, бұл сапа мен өнімділікті арттырады. Құрылғы техникалық қызмет көрсету оңай, пайдалану оңай және үнемді болу үшін жасалған. Бұл жеке кәсіпкерлер мен шағын бизнес үшін қолжетімді және үнемді. Жабдықтардың қолжетімділігі, бағасы, сапасы, өнімділігі, техникалық қызмет көрсету мүмкіндігі, сенімділігі, жеңіл салмағы және қозғалғыштығы оны Қазақстандағы шағын бизнесті дамыту үшін өзекті етеді. Жұмыс барысында кептіру қондырғысының өнімділігіне бірқатар сынақтар жүргізілді. Сондай-ақ эскиздік сызба әзірленді, кептіру қондырғысы жобаланды, дизайн үшін оңтайлы жұмыс параметрлері таңдалды. Алынған кептіру қондырғысы құрт өндірісінде, жеке және фермаларда іске асыру үшін перспективалы болып табылады. Ол өнімнің сапасы мен өнімділігін арттырады, сондай-ақ Қазақстанның шағын және орта бизнесі үшін жаңа мүмкіндіктер туғызады. Сондай-ақ, мұндай жабдық жергілікті тағам туризміне серпін бере алады, бұл туристер бірегей және шынайы тәжірибені іздейтіндіктен, туризмнің танымал түріне айналып отыр. Туристерге оның тағамдары арқылы жергілікті мәдениетті сезіну мүмкіндігін ұсыну.*

**Түйін сөздер:** ұлттық тағамдар, құрт, кептіру цехы, ашытылған сүт өнімдері, шағын және орта бизнесті дамыту, кептіру жабдықтары, құрт өндірісі, тағам кептіру.

**Е.М. Aqzam\*, A.K. Kakimov, A.E. Erengaliev, N.K. Ibragimov**

Semey University named after Shakarim,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka Street, 20A  
\*e-mail: ektu2009@gmail.com

### **DEVELOPMENT OF A DRYING UNIT FOR THE PRODUCTION OF KURTA**

*The article is devoted to the development of a drying unit for the production of kurt, a traditional fermented milk product that is very popular in Kazakhstan. Kurt is not only a national product, but also has a high nutritional value, vitamin and mineral content. Regular consumption of kurt helps to restore beneficial intestinal microflora and is especially useful for pregnant women, children and the elderly. The traditional method of drying kurt in the open air has a number of disadvantages, such as dependence on weather conditions and low productivity. The developed convective drying unit allows solving these problems. It ensures uniform and rapid drying of kurt in controlled conditions, which improves quality and productivity. The unit is designed taking into account the principles of ease of maintenance, ease of operation and cost-effectiveness. It is affordable and cost-effective for individual entrepreneurs and small businesses. Availability, price, quality, productivity, maintainability, reliability, light weight and mobility of the equipment make it relevant for the development of small businesses in Kazakhstan. During the work, a number of tests were conducted on the performance of the drying unit. A sketch drawing was also developed, a drying unit was developed and the*

*optimal operating parameters of the design were selected. The resulting drying unit is promising for implementation in the production of kurt, in the conditions of individual and farm enterprises. It will improve the quality and productivity of the product, as well as create new opportunities for small and medium businesses in Kazakhstan. Also, such equipment can give impetus to local gastronomic tourism, which is becoming an increasingly popular type of tourism, as tourists are looking for unique and authentic experiences. Offering tourists the opportunity to get acquainted with the local culture through its cuisine.*

**Key words:** national cuisine, kurt, drying unit, fermented milk products, development of small and medium businesses, drying equipment, production of kurt, drying of food products.

#### Сведения об авторах

**Ерхан Мейрамулы Ағзам\*** – докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: [ektu\\_09@mail.ru](mailto:ektu_09@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7684-5089>.

**Айтбек Калиевич Какимов** – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: [bibi.53@mail.ru](mailto:bibi.53@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9607-1684>.

**Амангельды Еренгалиевич Еренгалиев** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», Университет имени Шакарима города Семей, ул. Глинки 20А, г. Семей, Республика Казахстан, телефон: +77052763541, e-mail: [erengaliev48@mail.ru](mailto:erengaliev48@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6653-9730>.

**Надир Кадырович Ибрагимов** – кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», Университет имени Шакарима города Семей, ул. Глинки 20А, г. Семей, Республика Казахстан, телефон: +7 705 526 1824, e-mail: [ibragimnk@mail.ru](mailto:ibragimnk@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Ерхан Мейрамулы Ағзам\*** – «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының докторанты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: [ektu\\_09@mail.ru](mailto:ektu_09@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7684-5089>.

**Айтбек Калиевич Какимов** – техника ғылымдарының докторы, «Технологиялық жабдық және машина жасау» кафедрасының профессоры; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: [bibi.53@mail.ru](mailto:bibi.53@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9607-1684>.

**Амангельды Еренгалиевич Еренгалиев** – техника ғылымдарының кандидаты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының профессоры, көш. Глинка 20А, Қазақстан Республикасы, Семей қ., телефон: +77052763541, e-mail: [erengaliev48@mail.ru](mailto:erengaliev48@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6653-9730>.

**Надир Кадырович Ибрагимов** – техника ғылымдарының кандидаты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының оқытушысы, к. Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка 20А, телефон: +7 705 526 1824, e-mail: [ibragimnk@mail.ru](mailto:ibragimnk@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

#### Information about the authors

**Erkhan Agzam\*** – doctoral student of the department «Technological equipment and mechanical engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: [ektu\\_09@mail.ru](mailto:ektu_09@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7684-5089>.

**Aitbek Kakimov** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Equipment and Mechanical Engineering; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: [bibi.53@mail.ru](mailto:bibi.53@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9607-1684>.

**Amangeldy Yerengaliyev** – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Equipment and Mechanical Engineering, Shakarim University of Semey, st. Glinka 20A, Semey, Republic of Kazakhstan, e-mail: [erengaliev48@mail.ru](mailto:erengaliev48@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6653-9730>

**Nadir Ibragimov** – Candidate of Technical Sciences, teacher of the Department of Technological Equipment and Mechanical Engineering, Shakarim University of Semey, st. Glinka 20A, Semey, Republic of Kazakhstan, e-mail: [ibragimnk@mail.ru](mailto:ibragimnk@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

*Поступила в редакцию 19.04.2024*

*Поступила после доработки 27.05.2024*

*Принята к публикации 27.06.2024*

**А.Н. Аралбаева<sup>1\*</sup>, Р.С. Утегалиева<sup>2</sup>, Г.Т. Жаманбаева<sup>1</sup>, М.К. Мурзахметова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби,  
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Тимирязева 47

<sup>2</sup>Казахский национальный женский педагогический университет,  
050000, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Гоголя, 114 к1

\*e-mail: a\_aralbaeva83@bk.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНЫХ И МЕМБРАНОСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЭКСТРАКТОВ ГРИБА *GANODERMA LUCIDUM* В УСЛОВИЯХ IN VITRO**

**Аннотация:** На сегодняшний день применение биоактивных веществ из природного сырья в качестве нутрицевтиков является общепризнанным в целях понижения риска возникновения различных болезней, а также как укрепляющих, иммуномодулирующих, адаптогенных средств. Гриб *Ganoderma lucidum*, или гриб Рейши известен на востоке на протяжении многих столетий. Современные исследования гриба Рейши показывают его иммуномодулирующие и противоопухолевые свойства, в большинстве работ указывается на его антиоксидантный потенциал.

Как показали наши исследования, экстракт мицелия и плодового тела ганодермы снижает интенсивность процессов липопероксидации и повышает их резистентность в условиях *in vitro*. При действии экстракта мицелия в концентрации 10 мкг уровень продуктов липопероксидации составил 37,6%, при 20 мкг – 21,1%, при 50 мкг – 14,9% и при действии аналогичных концентраций аскорбиновой кислоты данные значения составили – 74,3%, 60,4% и 36,4% соответственно и для витамина E-70, 2%, 65,3%, 53,5% и 38% соответственно, тогда как при действии концентраций ниже 10 мкг противокислительный эффект исследуемых агентов существенно не отличался. Антиоксидантный эффект экстракта плодового тела существенно проявлялся при концентрациях 10-50 мкг – уровень перекисного окисления снизился на 80% от исходного уровня, повышение концентрации от 50 до 100 мкг практически полностью подавляют процессы липопероксидации. Результаты исследования мембраностабилизирующих свойств разных частей гриба показали, что экстракты обладают выраженным свойством стабилизировать структуру клеточной мембраны. Выраженность мембраностабилизирующего эффекта экстрактов проявлялась дозозависимо. В диапазоне концентраций 0-200 мкг уровень гемолиза в образцах инкубированных с добавлением экстрактов мицелия и плодового тела снизился на 19,8% и 25% в концентрации 10 мкг, 27% и 37% при 20 мкг, на 55% и 57,2% при 50 мкг, на 63% и 68% при 100 мкг, и на 69% и 65% при 200 мкг тогда как при внесении в среду инкубации аскорбиновой кислоты уровень гемолиза снизился в данных концентрациях на 10%, 14,5%, 25%, 40% и 44% и  $\alpha$ -токоферола на 5%, 22%, 32%, 40%, 45% и 50%.

Исследование полифенольного и флавоноидного состава экстрактов показало, что в экстрактах присутствуют вещества, относящиеся к полифенольным соединениям.

**Ключевые слова:** *Ganoderma lucidum*, экстракт, перекисное окисление липидов, осмотическая резистентность, гемолиз, полифенольные соединения.

### **Введение**

Лекарственные грибы используются веками в качестве нутрицевтиков для улучшения здоровья и лечения многих хронических и инфекционных заболеваний. Одним из них является гриб *Ganoderma lucidum* или гриб Рейши, вид который считается лекарственным, так как способен лечить разные заболевания и продлевать жизнь [1]. *Ganoderma lucidum* известен как горький гриб с выраженным оздоравливающим действием на организм. Активные компоненты гриба включают полисахариды, пищевые волокна, олигосахариды, тритерпеноиды, пептиды, протеины, спирты и фенолы, минералы такие как цинк, медь, йод, селен и железо, витамины и аминокислоты. Биоактивные вещества входящие в состав гриба рейши обладают свойствами улучшать состояние организма при гепатопатии, хроническом гепатите, нефрите, артериальной гипертензии, артрите, неврастении, бессоннице, бронхите, астме, язве желудка, атеросклерозе, лейкопении, диабете и при раковых заболеваниях [2]. Исследования последних лет доказали иммуномодулирующие и противораковые свойства гриба Линьчжи как в условиях *in vitro* так и *in vivo* [3-4].



Общеизвестным фактом является то, что в основе развития патологического процесса лежит избыточное накопление свободных радикалов. Данные соединения образуются в организме постоянно, однако в норме инактивируются антиоксидантной системой организма. В силу различных причин нарушение баланса между антиоксидантной и прооксидантными системами ведет к развитию окислительного стресса, который повышает риск появления мутаций и канцерогенеза [5]. В данной ситуации для восстановления внутреннего соотношения антиоксидантов и прооксидантов целесообразно дополнительное использование веществ с противоокислительной активностью. Известно, что потребление пищи богатых антиоксидантами способствует предотвращению рака и других хронических болезней [6-7].

Компоненты, входящие в состав *G. lucidum* показали широкий спектр лечебных свойств в многочисленных экспериментах *in vitro* и *in vivo* [8-11]. Целью наших исследований явилось определение антиоксидантной активности и мембраностабилизирующих свойств экстрактов мицелия и плодового тела ганодермы и содержания таких биоактивных веществ обладающих противоокислительными свойствами как полифенольные соединения и общих флавоноидов, а также провести сравнение анализ антиоксидантных свойств разных частей гриба Рейши.

#### **Материалы и методы исследования**

В соответствии с целью и задачами работы эксперименты проводились в условиях *in vitro*. **Эксперименты в условиях *in vitro*** проводили на микросомах печени и эритроцитах белых беспородных крыс, массой 300-350 г. Печень животных и цельную кровь отбирали после усыпления диэтиловым эфиром и декапитации.

Для **получения гомогената** навеску (0,5-1,0 г) ткани печени крыс после промывания в охлажденном физиологическом растворе помещали в 10 мл среды, содержащей 0,85% NaCl и 50мМ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , (рН 7,4 при 4°C) и гомогенизировали гомогенизатором типа Polytron в течение 90 сек. Гомогенат центрифугировали при 10000g в течение 20 мин. Микросомную фракцию получали, центрифугируя супернатант при 30000g в течение 60 мин. Надосадочную жидкость осторожно сливали и осадок, представляющий собой фракцию тяжелых микросом, суспендировали в среде, содержащей 25% глицерина, 0.1 мМ ЭДТА, 0.2 мМ  $\text{CaCl}_2$ , 10 мМ гистидина, (рН 7.2 при 4°C) и хранили при минус 4°C.

Для **получения суспензии эритроцитов** кровь центрифугировали 10 минут при 1000 g. После отделения сыворотки эритроциты дважды промывали средой инкубации (СИ), содержащей 150 мМ NaCl, 5 мМ  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (рН-7,4). Полученную суспензию эритроцитов использовали для проведения исследований. Перед опытом эритроциты предварительно разводили в 10 раз СИ и инкубировали 5мин при 37°C.

Об интенсивности **перекисного окисления липидов** (ПОЛ) в микросомах печени судили по содержанию ТБК-активных продуктов. Концентрацию малонового диальдегида (МДА) определяли по интенсивности развивающейся окраски в результате взаимодействия с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) по методу Н.О. Ohkawa e.a. [12]. Для индукции процесса ПОЛ в мембранах применяли систему  $\text{Fe}^{2+}$  (0,02мМ)+аскорбат (0,5мМ). Окисление проводили в среде гомогенизирования в термостатируемых ячейках при 37°C с постоянным перемешиванием. Пробы отбирали через определенные промежутки времени от 0 до 60 мин. За накоплением малонового диальдегида (МДА) – продукта ПОЛ, следили по реакции с 2-тиобарбитуровой кислотой, оптическую плотность измеряли при 532 нм. Расчет содержания продуктов, реагирующих с ТБК, проводили с учетом коэффициента молярной экстинкции МДА, равного  $1.56 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

**Приготовление экстрактов.** Для получения экстрактов сухое сырье измельчали и экстрагировали дважды 50 % спиртом в соотношении 1:8 сырье-экстрагент при температуре 20-25°C. Время экстракции составило 20 часов. Полученные экстрагенты центрифугировали при 1000g, отфильтровывали, смешивали. Полученные экстракты использовали для дальнейших исследований.

**Определение общих флавоноидов.** Содержание общих флавоноидов определяли по колориметрическому методу с хлоридом алюминия [13].

**Определение общего полифенольного состава.** Содержание общих полифенолов определяли методом Фолина-Чиколтэу [13]. Содержание общих полифенолов выражали в мкг галлиевой кислоты в 1 мг исследуемого образца.

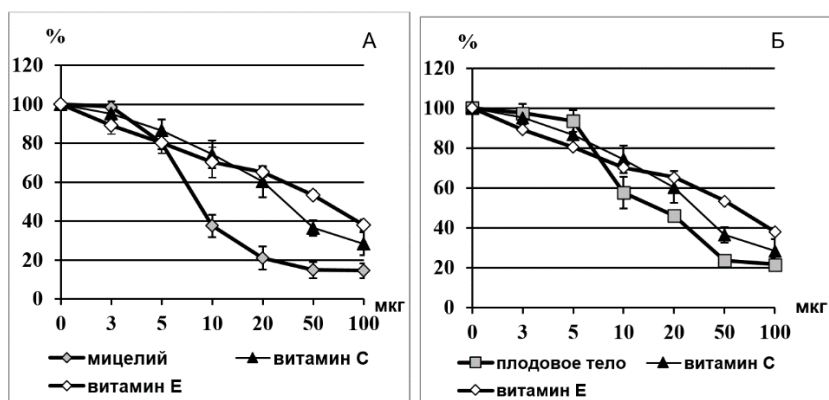
**Определение осмотической резистентности эритроцитов.** Суспензию эритроцитов инкубировали при 37°C в течении 20 мин в растворе NaCl (0,4 мг/мл) Оптическую плотность измеряли при длине волны 540 нм. Уровень гемолиза клеток рассчитывали в процентах по отношению к 100% гемолизу, вызванному раствором Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в концентрации 1 мг/мл.

**Статистическая обработка данных.** Полученные результаты статистически обрабатывали с использованием программы Microsoft Excel, рассчитывая среднюю арифметическую параметра, среднее квадратическое отклонение, ошибку средней арифметической. С учетом критерия Фишера-Стьюдента зарегистрированные изменения показателей считали достоверными при  $p \leq 0.05$ .

### Результаты и обсуждение

В условиях *in vitro* были исследованы антиоксидантные свойства водно-этанольных экстрактов мицелия и плодового тела гриба рейши. Как показали результаты экспериментов, оба экстракта оказывают дозозависимое влияние на процессы образования ТБК-активных продуктов в микросомах печени. Для получения полной оценки антиоксидантных свойств экстрактов мицелия и плодового тела гриба проведен сравнительный анализ влияния экстрактов и общеизвестных антиоксидантов- аскорбиновой кислоты и  $\alpha$ -токоферола.

Исследование противоокислительного действия экстракта мицелия ганодермы показало, что он обладает существенным антиоксидантным потенциалом (рис. 1-А). В ходе экспериментов выявлен дозозависимый эффект экстракта. Как видно из рисунка, действие экстракта мицелия проявляется при концентрации 5 мкг – уровень ТБК-активных продуктов снизился на 20%, в диапазоне концентраций от 5 мкг до 20 мкг наблюдалось резкое уменьшение продуктов липопероксидаци; уровень МДА снизился в 5 раз относительно исходных значений.



По оси абсцисс: концентрация веществ, мкг; по оси ординат: уровень ПОЛ, %

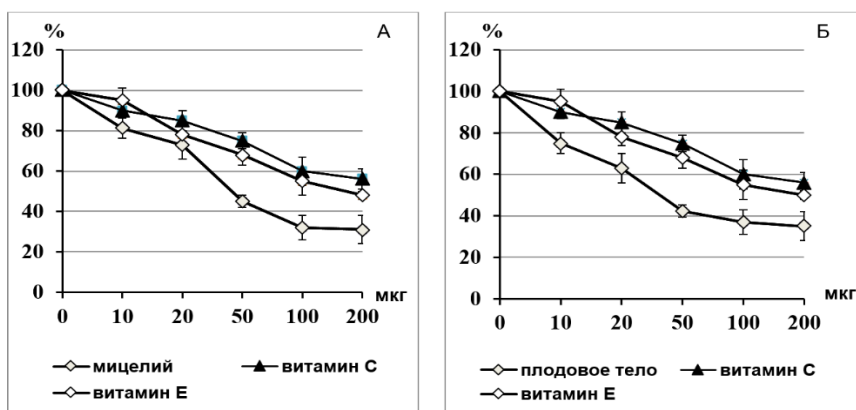
Рисунок 1 – Влияние экстракта мицелия (А) и плодового тела (Б) гриба *Ganoderma lucidum*, витамина С и альфа-токоферола на состояние мембран гепатоцитов

Дальнейшее повышение концентрации экстракта не привело к значительным изменениям концентраций продуктов перекисного окисления в исследуемой среде, в диапазоне концентраций 20-100 мкг наблюдается практически полное ингибирование процессов ПОЛ. При сравнении антиоксидантного эффекта экстракта мицелия гриба рейши с витаминами Е и С выявлено, что при концентрациях 3-5 мкг данные вещества действовали практически одинаково, тогда как при повышении концентрации, способность экстракта мицелия тормозить интенсивность процессов ПОЛ проявлялась более выражено. При действии экстракта в концентрации 10 мкг уровень продуктов липопероксидации составил 37,6%, при 20 мкг – 21,1%, при 50 мкг – 14,9% и при действии аналогичных концентраций аскорбиновой кислоты данные значения составили – 74,3%, 60,4% и 36,4% соответственно и для витамина Е-70,2%, 65,3%, 53,5% и 38% соответственно. Следовательно, антиоксидантные свойства экстракта мицелия существенно лучше по сравнению с витамином С и витамином Е. Следует отметить, что в наших исследованиях противоокислительный эффект аскорбиновой кислоты проявлялся более выражено в концентрациях 50-100 мкг относительно  $\alpha$ -токоферола.

Результаты экспериментов по оценке антиоксидантных свойств экстракта плодового тела *Ganoderma lucidum* приведены на рисунке 1-Б.

Как и в предыдущем исследовании, экстракт плодового тела гриба дозозависимо ингибирует образование перекисных продуктов в микросомах печени. Из рисунка видно, что антиоксидантный эффект экстракта плодового тела практически сходен с таковым витамина С. Противоокислительное действие экстракта плодового тела существенно проявляется при концентрациях 10-50 мкг – уровень ПОЛ снижается на 80% от исходного уровня, повышение концентрации от 50 до 100 мкг практически полностью подавляют образование продуктов ПОЛ. Следует подчеркнуть, что с повышением концентраций антиоксидантный эффект экстракта приобретает более выраженный характер по сравнению с витаминами С и Е.

Результаты исследования мембраностабилизирующих свойств экстрактов гриба рейши приведены на рисунке 2. Аналогично предыдущей серии опытов, экстракты мицелия и плодового тела гриба снижали уровень гемолиза эритроцитов в гипотонических растворах NaCl, что свидетельствовало о стабилизации их структуры. Выраженность мембраностабилизирующего эффекта экстрактов проявлялась в зависимости от повышения концентрации. Из рисунка видно, что в диапазоне концентраций 0-200 мкг уровень гемолиза в образцах инкубированных с добавлением экстрактов мицелия и плодового тела снизился на 19,8% и 25% в концентрации 10 мкг, 27% и 37% при 20 мкг, на 55% и 57,2% при 50 мкг, на 63% и 68% при 100 мкг, и на 69% и 65% при 200 мкг тогда как при внесении в СИ аскорбиновой кислоты уровень гемолиза снизился в данных концентрациях на 10%, 14,5%, 25%, 40% и 44% и  $\alpha$ -токоферола на 5%, 22%, 32%, 40%, 45% и 50%.



По оси абсцисс: концентрация веществ, мкг; по оси ординат: уровень гемолиза, %

Рисунок 2 – Влияние экстракта мицелия (А) и плодового тела (Б) гриба *Ganoderma lucidum*, витамина С и альфа-токоферола на резистентность эритроцитарных мембран

Результаты исследования  $IC_{50}$  (концентрации ингибирующие уровень гемолиза и перекисного окисления липидов на 50%), полифенольного и флавоноидного состава экстрактов мицелия и плодового тела приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание общих полифенольных соединений (ОПФС) и флавоноидов (ОФ), антиоксидантная активность и мембраностабилизирующие свойства экстрактов гриба рейши

Агент	Показатель $IC_{50}$ , мкг		Содержание ОПФС, мкг экв. галлиевой кислоты/ 1 мг экстракта	Содержание ОФ, мкг экв. кверцетина/1 мг экстракта
	Антиоксидантные свойства	Мембраностабилизирующие свойства		
Экстракт мицелия	8,25±0,78	48,2±5,2	120,0±4,8	-
Экстракт плодового тела	17,8±1,9	37,6±7,9	150,5±5,3	-
Витамин С	33,8±3,2	>200	-	-
Витамин Е	48,5±2,5	200±12,2	-	-

Данные приведены с учетом стандартного отклонения от среднеарифметического значения

При сравнении антиоксидантного и мембранопротективного потенциала экстрактов мицелия и плодового тела гриба рейши можно сказать, антиоксидантный эффект экстрактов мицелия и плодового тела несколько отличается друг от друга, тогда как их мембраностабилизирующее действие проявляется противоположным образом. В ходе экспериментов выявлено, что 50-процентная ингибирующая концентрация экстракта мицелия составляла 8,25мкг и 48,5 мкг, тогда как для экстракта плодового тела гриба – 17,8 мкг и 37,1 мкг, для витамина С – 33,8 мкг и свыше 200 мкг и витамина Е – 48,5 мкг, 200 мкг соответственно.

Из таблицы видно, что несмотря на то, что содержание полифенолов в экстракте плодового тела несколько выше, антиоксидантные свойства экстракта мицелия более выражены. Следует отметить, что проведение анализа на содержание флавоноидов в экстрактах не выявило их наличия в составе экстрактов *Ganoderma lucidum*. Вероятнее всего, что антиоксидантные свойства мицелия и плодового тела обусловлены наличием других биоактивных веществ обладающих противоокислительным действием и их синергичным эффектом.

### **Выводы**

На основании результатов исследований можно заключить, что антиоксидантный потенциал экстрактов мицелия превышает таковой плодового тела в 2 раза и известного антиоксиданта – витамина С практически в 4 раза, витамина Е практически в 5 раз. Отмечено, что при концентрациях 10-100 мкг положительное влияние экстракта мицелия на состояние мембран гепатоцитов выше такового экстракта плодового тела в 1,5-2 раза. Аналогично, мембранопротективные свойства экстрактов мицелия и плодового тела ганодермы выражены по сравнению с растворами витаминов С и Е.

При сравнении антиоксидантного эффекта мицелия и плодового тела можно отметить, что способность экстракта мицелия ингибировать образование перекисных продуктов выше практически в 2 раза по сравнению с экстрактом плодового тела, тогда как по мембраностабилизирующим свойствам экстракт мицелия несколько уступает таковому плодового тела. Исследование полифенольного и флавоноидного состава экстрактов показало, что в экстрактах отсутствуют вещества, относящиеся к флавоноидам, тогда как обнаружено присутствие других полифенольных соединений. Известно, что в состав как мицелия, так и плодового тела гриба рейши входят такие биоактивные вещества как полисахариды и терпеноиды.

### **Список литературы**

1. Developing *Ganoderma lucidum* as a next-generation cell factory for food and nutraceuticals / Azi F. et al // Trends in biotechnology. – 2024. – Vol. 42, № 2. – P. 197-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2023.07.008>.
2. Milosavljevic A. *Ganoderma lucidum* / A. Milosavljevic, J. Barnes // Journal of primary health care. – 2023. – Vol.15, № 3. – P. 290-292. DOI: <https://doi.org/10.1071/HC23105>.
3. Seweryn E. Health-Promoting of Polysaccharides Extracted from *Ganoderma lucidum* / E. Seweryn, A. Ziała, A. Gamian // Nutrients. – 2021 – Vol. 13, № 8. – P. 2725. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13082725>
4. Hsieh T.C. Suppression of proliferation and oxidative stress by extracts of *Ganoderma lucidum* in the ovarian cancer cell line OVCAR-3 / T.C. Hsieh, J.M. Wu // Int J Mol Med. – 2011. – Vol. 28, № 6. – P. 65-69.
5. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine / H. Sies // Redox biology. – 2015. – Vol. 4. – P. 180-183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.01.002>.
6. Rafieian-Kopaie M. On the Occasion of World Cancer Day 2015; the Possibility of Cancer Prevention or Treatment with Antioxidants: The Ongoing Cancer Prevention Researches / M. Rafieian-Kopaie, H. Nasri // Int J Prev Med. – 2015. – Vol. 6. – P.108.
7. Evaluation of Antioxidant, Free Radical Scavenging, and Antimicrobial Activity of *Quercus incana* Roxb / R. Sarwar et al // Front Pharmacol. – 2015. – Vol. 6. – P. 277.
8. *Ganoderma lucidum* (Reishi) an edible mushroom; a comprehensive and critical review of its nutritional, cosmeceutical, mycochemical, pharmacological, clinical, and toxicological properties / R. Ahmad et al // Phytotherapy research: PTR. – 2021. – Vol. 35, № 11. – P. 6030-6062. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.7215>.

9. The beneficial effects of *Ganoderma lucidum* on cardiovascular and metabolic disease risk / S.W. Chan et al // *Pharmaceutical biology*. – 2021. – Vol. 59. – № 1. – P. 1161-1171. DOI: <https://doi.org/10.1080/13880209.2021.1969413>.
10. Smina T.P. *Ganoderma lucidum* total triterpenes attenuate DLA induced ascites and EAC induced solid tumours in Swiss albino mice / T.P. Smina, J. Mathew, K.K. Janardhanan // *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)*. – 2016. – Vol. 5, № 62. – P. 55-59.
11. *Ganoderma lucidum* polysaccharide inhibits the proliferation of leukemic cells through apoptosis / M. Zhong et al // *Acta biochimica Polonica*. – 2022. – Vol. 69, № 3. – P. 639-645. DOI: [https://doi.org/10.18388/abp.2020\\_6070](https://doi.org/10.18388/abp.2020_6070).
12. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction / H.O. Ohkawa, N. Ohishi, K. Yagi // *Anal. Biochem.* – 1979. – Vol. 95, № 2. – P. 351-358.
13. Synergistic antioxidant activities of eight traditional Chinese herb pairs / W.J. Yang et al // *Biol. Pharm. Bull.* – 2009. – Vol. 32, № 6. – P. 1021-1026.

**А.Н. Аралбаева\*<sup>1</sup>, Р.С. Өтеғалиева<sup>2</sup>, Г.Т. Жаманбаева<sup>1</sup>, М.К. Мырзахметова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,  
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Тимирязев көшесі, 47

<sup>2</sup>Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті,  
050000, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Гоголь көшесі, 114 к1  
e-mail: \*a\_aralbaeva83@bk.ru

### **GANODERMA LUCIDUM САҢЫРАУҚҰЛАҒЫНАН АЛЫНҒАН ЭКСТРАКТИЛЕРДІҢ АНТИОКСИДАНТТЫ ЖӘНЕ МЕМБРАНАТҰРАҚТАНДЫРУШЫ ҚАСИЕТТЕРІН ІN VITRO ЖАҒДАЙЫНДА ЗЕРТТЕУ**

Бүгінгі таңда табиғи шикізаттан алынған биоактивті заттарды нутрицевтиктер ретінде қолдану әртүрлі аурулардың пайда болу қаупін азайту мақсатында, сондай-ақ организмнің күш қуатын арттыратын, иммуномодуляциялаушы, адаптогенді агенттер ретінде пайдаланылатын заттар деп танылған. *Ganoderma lucidum* саңырауқұлағы немесе Рейши саңырауқұлағы шығыста көптеген ғасырлар бойы белгілі. Рейши саңырауқұлағының заманауи зерттеулері оның иммуномодуляциялық және ісікке қарсы қасиеттерінің бар екенін көрсетіп, көптеген жұмыстар оның антиоксиданттық әлеуетін дәлелдеп берді.

Біздің зерттеулеріміз көрсеткендей, ганодерманың мицелий және жеміс денесінің сығындысы липопероксидация процестерінің қарқындылығын төмендетеді және *in vitro* жағдайында олардың төзімділігін арттырады. 10 мкг концентрациядағы мицелий сығындысының әсерінен липопероксидация өнімдерінің деңгейі 37,6%, 20 мкг – 21,1%, 50 мкг – 14,9% дейін төмендеген және аскорбин қышқылының ұқсас концентрацияларының әсерінен бұл мәндер тиісінше 74,3%, 60,4% және 36,4% және E дәрумені үшін – 70,2%, 65,3%, 53,5% құрады. Ал 10 мкг-нан төмен концентрацияларда зерттелген агенттердің тотығуға қарсы әсері бірегей болды. Жеміс денесінің сығындысының антиоксиданттық әсері 10-50 мкг концентрациясында айтарлықтай байқалды; асқын тотығу деңгейі бастапқы деңгейден 80% - ға төмендеді, концентрацияның 50-ден 100 мкг-ға дейін жоғарылауы липопероксидация процестерін толығымен тежейді. Саңырауқұлақтың әртүрлі бөліктерінің мембраналық тұрақтандырғыш қасиеттерін зерттеу нәтижелері сығындылардың жасуша мембранасының құрылымын нығайтатын айқын қасиетке ие екенін көрсетті. Сығындылардың мембраналық тұрақтандырушы әсерінің көрінісі дозаға байланысты болды, 0-200 мкг концентрация диапазонында мицелий мен жеміс денесінің сығындылары қосылған үлгілердегі гемолиз деңгейі төмендеп, 10 мкг концентрациясында 19,8% және 25%, 20 мкг-да 27% және 37%, 50 мкг-да 55% және 57,2%, 100 мкг-да 63% және 68% құрады. 200 мкг концентрацияда 69% және 65% ал ортаға аскорбин қышқылын енгізген кезде гемолиз деңгейі атаулы концентрацияларда 10%, 14,5%, 25%, 40% және 44% төмендеді және  $\alpha$ -токоферол үшін ол көрсеткіш 5%, 22%, 32%, 40%, 45% және 50% құрады.

Сығындылардың полифенол және флавоноидты құрамын зерттеу нәтижелері сығындыларда полифенол қосылыстарына жататын заттардың бар екенін көрсетті.

**Түйін сөздер:** *Ganoderma lucidum*, экстракт, липидтердің асқын тотығы, осмотикалық төзімділік, гемолиз, полифенолды қосылыстар.

**A.N. Aralbaeva<sup>1\*</sup>, R.S. Utegalieva<sup>2</sup>, G.T. Zhamanbaeva<sup>1</sup>, M.K. Murzakhmetova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>al Farabi Kazakh National University, 050040, st. Timirjazev, 47, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakh National Women's Teachers Training University, 050000, Gogol street, 114 k1, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: a\_aralbaeva83@bk.ru

### **RESEARCH OF GANODERMA LUCIDUM EXTRACTS' ANTIOXIDATIVE AND MEMBRANE STABILIZING PROPERTIES IN VITRO CONDITION**

The using of bioactive compounds received from natural raw as nutraceuticals is acknowledged as well as strengthening, immunomodulatory, adaptogenic agents and in order to reduce the risk of emergence of various diseases. *Ganoderma Lucidum* or Reishi mushroom is known on east during centuries and has been used in different aims. Modern researches of Reishi mushroom show its high antioxidative potential. Our experiments have shown that extracts made from micelium and fruiting body of ganoderma reduce the intensity of lipoperoxidation in membranes and increase the resistance in vitro conditions.

Micelium extract inhibited the level of products of lipoperoxidation up to 37,6% at concentration 10 mkg, 21,1% at 20 mkg, 14,9% at 50 mkg. At influence the same concentrations of ascorbic acid means of level of lipid peroxidation amount 74,3%, 60,4% and 36,4% - respectively, for vitamin E - E-70,2%, 65,3%, 53,5% and 38% respectively. Antioxidative effect of fruit body's extract significantly have shown at 10-50 mkg – level of LPO decreased on 80% from origin level, the increasing of concentration from 50 to 100 mkg leded to practically total inhibition of formation LPO products. At concentrations lower than 10 mkg antioxidative effect of the testing agents didn't differ significantly. The experiments revealed that the mycelium extracts' antioxidant properties exceed the well-known antioxidant agents such as vitamins E and C, while the extract of the fruit body has a substantially similar effect of ascorbic acid and alpha-tocopherol

Results of study have shown that extracts of ganoderma possess pronounced property to stabilize the structure of cell membrane. Severity of membrane stabilizing effect of extracts depended on concentration. In concentration 0-200 mkg in samples incubated in the presence of mycelium and fruit body extracts the hemolysis decreased on 19,8% and 25% at 10 mkg, on 27% and 37% at 20 mkg, on 55% and 57,2% at 50 mkg, on 63% and 68% at 100 mkg, on 69% and 65% at 200 mkg respectively, whereas at the introducing in samples the ascorbic acid in analogical concentrations the hemolysis have descended on 10%, 14,5%, 25%, 40% and 44%, and at the cariing in  $\alpha$ -tocopherol the hemolysis lowered on 5%, 22%, 32%, 40%, 45% and 50% respectively.

The researches of total polyphenols and flavonoids in extracts showed, that in extracts abscent compounds, which are related to flavonoids, whereas have found the existence of another polyphenolic compounds.

**Key words:** *Ganoderma Lucidum*, extract, lipid peroxidation, osmotic resistance, hemolysis, polyphenolic compounds.

#### Сведения об авторах

**Арайлым Нугмановна Аралбаева\*** – кандидат биологических наук, асс.профессор, и.о. профессора кафедры Фундаментальной медицины, Казахского национального университета имени аль Фараби; e- mail: a\_aralbaeva83@bk.ru. ORCID: <https://doi.org/0000-0003-4610-4342>.

**Раиса Сактагановна Утегалиева** – кандидат биологических наук, доцент, асс. профессор кафедры «Биология» Казахского национального женского педагогического университета; e-mail: uteg56@mail.ru. ORCID: <https://doi.org/0000-0002-1145-5655>.

**Гульжан Толеугажиевна Жаманбаева** – PhD, и.о. доцента кафедры биофизики, биомедицины и нейронауки, Казахского национального университета имени аль Фараби, Алматы, Казахстан; e- mail: gulzhan\_t.82@mail.ru. ORCID: <https://doi.org/0000-0002-7450-2746>.

**Майра Кабдраушевна Мурзахметова** – д.б.н., профессор, профессор кафедры биофизики, биомедицины и нейронауки, Казахского национального университета имени аль Фараби, Алматы, Казахстан; e- mail: mairamur@mail.ru. ORCID: <https://doi.org/0000-0003-3008-4797>.

#### Авторлар туралы мәлімет

**Арайлым Нугмановна Аралбаева\*** – биология ғылымдарының кандидаты, қауымд.профессор., әл Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің, Іргелі медицина кафедрасының профессор м.а., Алматы, Қазақстан; e- mail: a\_aralbaeva83@bk.ru. ORCID: <https://doi.org/0000-0003-4610-4342>.

**Раиса Сактагановна Өтегалиева** – биология ғылымдарының кандидаты, доцент, «Биология» кафедрасының қауымд. профессоры, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті; e-mail: uteg56@mail.ru. ORCID: <https://doi.org/0000-0002-1145-5655>.

**Гульжан Толеугажиевна Жаманбаева** – PhD, биофизика, биомедицина и нейроғылым кафедрасының доцент м.а, әл Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; e- mail: gulzhan\_t.82@mail.ru. ORCID: <https://doi.org/0000-0002-7450-2746>.

**Майра Кабдраушевна Мырзахметова** – биология ғылымдарының докторы, профессор, биофизика, биомедицина и нейроғылым кафедрасының профессоры, әл Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; e- mail: mairamur@mail.ru. ORCID: <https://doi.org/0000-0003-3008-4797>.

#### Information about authors

**Arailym Nugmanovna Aralbaeva\*** – Candidate of Biological Sciences, ass. professor, acting professor of the Department of Fundamental Medicine, al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: a\_aralbaeva83@bk.ru. ORCID: <https://doi.org/0000-0003-4610-4342>.

**Raisa Saktaganovna Utegalieva** – Candidate of Biological Sciences, ass. Professor of the Department Biology, Kazakh National Women's Teachers Training University; e-mail: uteg56@mail.ru. ORCID: <https://doi.org/0000-0002-1145-5655>.

**Gulzhan Toleugazhievna Zhamanbaeva** – PhD, acting ass. prof. of Department Biophysics, biomedicine and neuroscience, al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: [gulzhan\\_t.82@mail.ru](mailto:gulzhan_t.82@mail.ru). ORCID: <https://doi.org/0000-0002-7450-2746>.

**Maira Kabdrausheva Murzakhmetova** – DS, professor, prof. of Department Biophysics, biomedicine and neuroscience, al Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: [mairamur@mail.ru](mailto:mairamur@mail.ru). ORCID: <https://doi.org/0000-0003-3008-4797>.

Поступила в редакцию 11.04.2024  
Поступила после доработки 24.06.2024  
Принята к публикации 26.06.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-17](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-17)



MPHTI: 65.59.03

**Ж.С. Желеуова\*, А.У. Шингисов, А.Р. Тасполтаева, Э.Т. Кансейтова, А.Т. Бердембетова**  
Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова  
160012, Республика Казахстан, г. Шымкент, пр. Тауке хана, 5  
\*e-mail: [zhozi\\_tima@mail.ru](mailto:zhozi_tima@mail.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПОЛУКОПЧЕНОЙ КОЛБАСЫ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследования минерального состава и органолептической оценки полукопченной колбасы из растительного сырья. В качестве растительного сырья были выбраны соя и нут. В результате опытов выявлено, что оптимальным соотношением сои и нута для производства полукопченной колбасы является 4:1. По результатам органолептической оценки полукопченной колбасы из растительного сырья установлено, что у третьего образца, соотношение соевого изолята и нута которого составляет 4:1, консистенция, запах и вкус был более свойственный полукопченной колбасе, чем остальные разрабатываемые образцы.

На основе исследований минерального состава полукопченной колбасы из растительного сырья доказано, что в первом и во втором образце больше минеральных веществ, чем в третьем образце. Так как объем соевого изолята увеличивается в 3-5 раза за счет соединения с водой, в колбасе из соевого текстурата и нута больше макро- и микроэлементов чем в колбасе из соевого изолята и нута. Однако в третьем образце больше фосфора на 1,58% и 0,98% по сравнению с образцами №1 и №2 соответственно.

Исследованиями доказано, что применение сои и нута в качестве основных ингредиентов, замещающая полностью мяса в полукопченной колбасе, является возможным и актуальным.

**Ключевые слова:** соя, нут, соевый изолят, соевый текстурат, полукопченная колбаса, растительное сырье, минеральный состав.

### Введение

Осмысление человечеством дефицита и уменьшения природных ресурсов, изменило потребность к мясу, заменяя его на не менее качественные растительные белковые продукты. [1, 2].

В белковых растительных продуктах содержится в больших количествах макро- и микроэлементы, витамины, клетчатка, а также пектиновые вещества, чем в мясе. Совершенствование современных технологии в производстве продуктов питания связано с увеличением продукции и разработкой функциональных продуктов, за счет использования нетрадиционного сырья, обладающим биологической активностью. Применение растительных заменителей мяса в производстве колбас и получение такого продукта, является перспективным, так как растительные компоненты являются источником биологически активных веществ, что позволит восполнить дефицит белка и быть более доступным для людей [3-6].

На сегодняшний день из известных растительных заменителей белка наибольший интерес представляет соя [7].

Благодаря своему химическому составу соевые бобы служат сырьем во многих пищевых продуктах от традиционных до современных, а также для создания продуктов с функциональными свойствами, что позволит применить ее в качестве недорогого заменителя мяса. Так как соевый белок хорошо усваивается организмом человека на 97% и по биологической ценности приближается к белкам животного происхождения [8]. Также соевые белки широко используются в мясной промышленности благодаря своим эмульгирующим, гелеобразующим, текстурным/структурным, водосвязывающим и питательным свойствам. Современные технологии переработки сои позволяют получить пищевые продукты с высоким содержанием высококачественного белка. Соевый текстурат представляет собой побочный продукт переработки соевых бобов, в результате которой из обезжиренной соевой муки получают высококонцентрированный белковый растительный заменитель мяса (соевый заменитель мяса). Из-за специфики технологии и исходного материала уровень концентрации белка в соевом заменителе мяса достигает 50-70%, в то время как в мясе сельскохозяйственных животных содержание белка составляет 17-21% [9]. Соевый текстурат богат железом, и часто его рекомендуют использовать в питании молодых женщин, так как железо поддерживает достаточный уровень гемоглобина и функции щитовидной железы. Калий, магний, фосфор и цинк, которые входят в состав текстурата, задействованы в обменных процессах организма. Соевый изолят – это концентрат соевого белка, получаемый кислотнo-щелочной экстракцией из обезжиренных хлопьев сои с последующей сушкой при высокой температуре и давлении, измельчением. Используется в хлебобулочных изделиях, замороженных десертах, мясной продукции [10].

Зарубежные ученые, как Итан Браун основатель американской компании Beyond Meat и Патрик О. Браун основатель компании Impossible Foods впервые произвели искусственное мясо из растительных компонентов в состав которых входил соевая мука, безглютеновая мука, морковные волокна, порошок граната и другие ингредиенты [11]. Патент «Способ получения пищевого продукта – заменителя мяса» авторами которого являются Эспелета Вега Алисия, Мора Кастильо Сесар Далмасио в котором мясо частично заменяют растительным белком [12].

Следует отметить, потребление растительных белков в пищевых продуктах с годами увеличивается из-за болезней животных, глобальной нехватки животного белка, высокого спроса на полезные и религиозные (халяльные) продукты питания и экономических причин [13].

Преимущество применения бобовых культур у специалистов пищевой промышленности огромен, так как особенностью современных продуктов питания является многокомпонентность рецептур и не маловажную роль имеют белки. Это связано с тем, что бобовые являются ценным источником полезных веществ для организма, богаты белком, липидами и углеводами [14-16].

Для повышения биологической ценности продукта и улучшения состава путем применения растительного сырья в пищевой промышленности используют нут, который является бобовой культурой. Характеризуется значительным содержанием белка с высоким аминокислотным скором по лимитирующей аминокислоте лизину, по сравнению с зерновыми культурами, является весьма ценной для пищевой отрасли. Нут обладает повышенным содержанием питательных веществ, таких как марганец, медь, железа, цинк, фосфор, селен, калий, витамины В<sub>1</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>9</sub> и высоким содержанием пищевых волокон – 7,6 г на 100-граммовую порцию. Этим многокомпонентным составом объясняется польза нута и его применение в продуктах питания [17,18].

В рамках альтернативных источников белка нут стал богатым источником пищевых белков (17-22%), которые можно экстрагировать сухим или влажным способом. Белки нута являются альтернативой для более широкого использования в качестве функциональных ингредиентов [19, 20].

Применение соевых бобов и нута в качестве пищевых ингредиентов все еще находится на ранних стадиях исследования, так как их применение в качестве заменителя мяса в колбасном производстве, практически не изучены.



### **Объекты и методы исследования**

Объектами исследования являются:

- 1) Полукопченая колбаса из соевого текстурата и нута (соотношение соевого текстурата и нута составляет 1:1);
- 2) Полукопченая колбаса из соевого текстурата и нута (соотношение соевого текстурата и нута составляет 4:1);
- 3) Полукопченая колбаса из соевого изолята и нута (соотношение соевого изолята и нута составляет 4:1).

Органолептическую оценку готовых продуктов проводили по 5-балльной шкале по ГОСТ 9959-91.

Минеральный состав полукопченой колбасы из растительного заменителя мяса изучались с применением растрового электронного микроскопа (JSM-6490LV, JEOL (Япония)). Методика проведения эксперимента на РЭМ. Образцы из тонкого листового материала закрепляют в специальных зажимах. Несколько образцов собирают в пакет, помещают его между пластинами, которые стягивают болтами. Затем заливают легкоплавким веществом серой. Далее образец ставят на бумагу заторцованной плоскостью и шлифуют с легким нажимом. На специальную, двухстороннюю липкую ленту наносится исследуемый образец продукта. Обдув исследуемый продукт струей чистого воздуха его необходимо установить в рабочую камеру микроскопа. Откачать электронный микроскоп на высокий вакуум, проконтролировав работу узлов вакуумной системы. Получив изображение исследуемого объекта во вторичных электронах, выбрав предварительно ускоряющее напряжение 20 кВ, диаметр электронного зонда 40 нм, и наклон эксцентрического столика 0 градусов. Получить электронное изображение микроструктуры образца. Рентгеновский микроанализ выполняется с помощью программы INCA ENERGY AnalyserNavigator. Получив спектр рентгеновских лучей выделенного участка, выполняется идентификация пиков в спектре.

Результаты анализа электронно-микроскопических исследований образцов в стандартном и низковакуумном режимах на растровом электронном микроскопе неорганических исходных и конечных продуктов выдаются в виде микро и макрофотографий с увеличением в 50-3000 раз, с характерным для пробы атомным и весовым поэлементным составом и дифракционными отражениями особенностей элементных соединений в электронной версии.

Технологический процесс. Технология приготовления колбасы из растительного заменителя мяса аналогична приготовлению мясной полукопченой колбасы, с незначительными изменениями. Технологические стадии приготовления образцов колбасы из растительного заменителя мяса включают: первичная обработка растительного сырья (соя, нут); приготовление фарша на растительной основе в мешалке с добавлением соли, пряностей (8-10 мин.); наполнение оболочек и вязка батонов; осадка (4-8°C; 2-4 ч.); термообработка: сушка (45°C, 10 мин), обжарка (75°C; 30 мин.); варка (85°C, 40-80 мин.), охлаждение (20°C и ниже, 2-3 ч.), копчение (43±7°C, 12-24 ч.), сушка (10-12°C, влажность 76,5±1,5%, 1-2 сут.); хранение.

Для обработки нута проводились следующие процессы: очистка, мойка и сушка. Мойку проводили при температуре воды 50-55°C. Сушили в конвективной сушилке марки ШС-80 с продолжительностью 130-140 мин. После сушки нут замачивали в теплой воде при температуре 50°C, в соотношении 1:2 до получения рыхлой консистенции. Полученную массу пропускали через мясорубку с диаметром отверстия 2-3 мм.

Для разработки опытного образца полукопченой колбасы из растительного заменителя мяса добавили сою в виде соевого текстурата и изолята. Для гидратации и набухания сухого соевого текстурата залили–теплой водой (приблизительно +50°C) в соотношении 1:2 до получения однородной густой массы. Для гидратации соевого изолята соотношение составляет 1:4. Полученную массу также пропустили через мясорубку с диаметром отверстия 2-3 мм. Полученную первичную обработку сырья измельченную массу из сои и нута использовали для приготовления полукопченой колбасы из растительного заменителя мяса.

### **Результаты и их обсуждение**

В эксперименте при разработке рецептуры полукопченой колбасы из растительного заменителя мяса было рассмотрено 3 варианта комбинации соотношения сои и нута, отличающиеся соотношением основного растительного сырья.

В первом и втором образцах, где основным сырьем является соевый текстурат и нут соотношение составило 1:1, во втором образце 4:1, соответственно сырью и образцам, а в третьем образце основным сырьем использовали соевый изолят и нут в соотношении 4:1, соответственно сырью. В качестве контрольного образца была выбрана полукопченая колбаса «Говяжья» разработанная по ГОСТ Р 31785-2012.

Органолептическую оценку исследуемых образцов проводили по 5-балльной шкале оценивания, результаты представлены на рисунке 1.

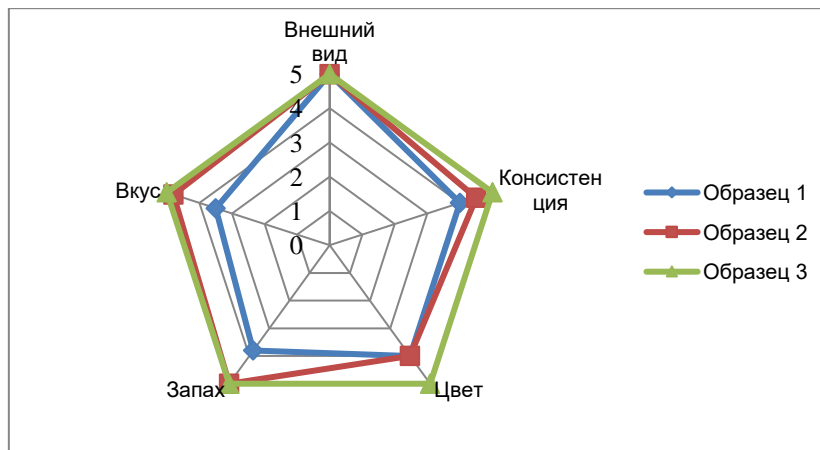


Рисунок 1 – Результаты органолептической оценки образцов разрабатываемой рецептуры полукопченой колбасы из растительного сырья

При органолептической оценке опытных образцов полукопченой колбасы из растительного сырья было установлено, что соотношение сои и нута влияет на вкус, запах и консистенцию готового продукта, рисунок 1. По органолептической оценке вкуса, первый образец получил самый низкий средний 3,5 баллов, второй и третий образцы одинаковые получили по 5 баллов, что связано со специфическим вкусом нута. Внешний вид у всех образцов имел чистую и сухую поверхность, без слипов и пятен, и получили одинаковую оценку. По консистенции, запаху и вкусу высокий балл получил третий образец, у который был более плотный, темно-красного цвета – естественного для колбасы, запах и вкус свойственный полукопченой колбасе, придавал аромат пряностей имеющихся в рецептуре.

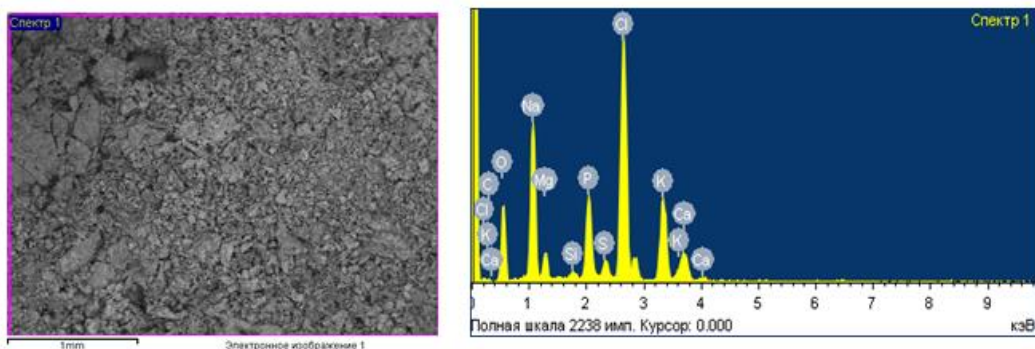
На основании полученных результатов, нами был выбран оптимальный вариант соотношении сои и нута (4:1), как заменителя мяса в производстве полукопченой колбасы.

Минеральный состав опытных образцов полукопченой колбасы из растительного сырья изучался с применением растрового электронного микроскопа (РЭМ) в ИРЛИП «Конструкционные и биохимические материалы» при Южно-Казахстанском университете им. М.Ауезова.

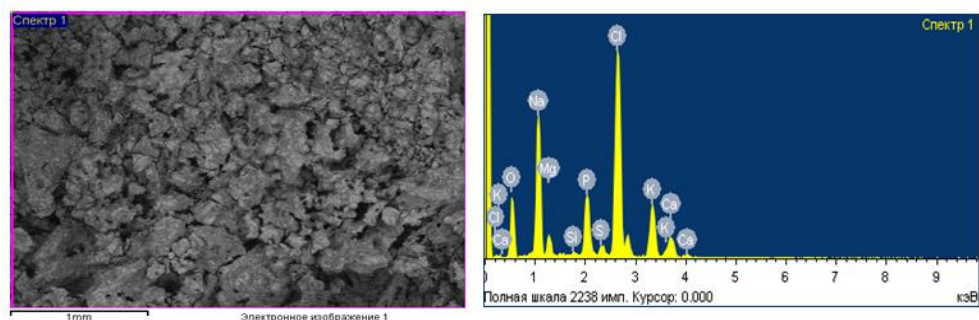
Полученные результаты исследования минерального состава образцов при разработке рецептуры полукопченой колбасы и определении оптимального соотношения из сои и нута представлены на рисунке 2.

Результаты обработки хроматограммы приведены на рисунке 3

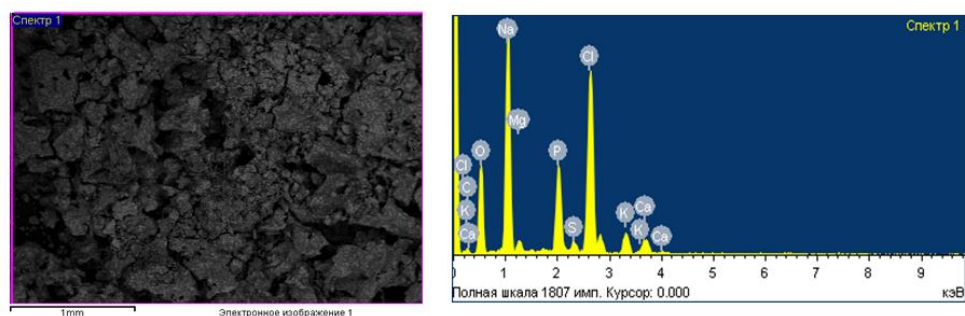
По результатам исследований минерального состава образцов разрабатываемых рецептур полукопченой колбасы из растительного сырья (рис. 3) было установлено, что в опытном образце №3 по сравнению с образцами № 1 и № 2 больше натрия на 8,43% и 3,98%, фосфора на 1,58% и 0,98% соответственно. В образце № 1 кремния в 1,75 раза больше чем во втором образце, серы в 1,18 и 1,58 раза, калия в 1,11 и 3,63 раза больше, чем во втором и третьем образце соответственно. Содержание в образце № 2 магния в 1,10 и 1,98 раза больше, чем в первом и третьем образце соответственно. Самое высокое содержание хлора и кальция проявилось во втором образце, а самое низкое в третьем образце. По результатам исследования можно сделать вывод о том, что в первом и во втором образце больше минеральных веществ, чем в третьем образце. Это свидетельствует о том, что в соевом текстурате больше макро- и микроэлементов, чем в соевом изоляте.



Образец № 1



Образец № 2



Образец № 3

Рисунок 2 – Структуры зола и хроматограммы полукопченой колбасы из растительного сырья

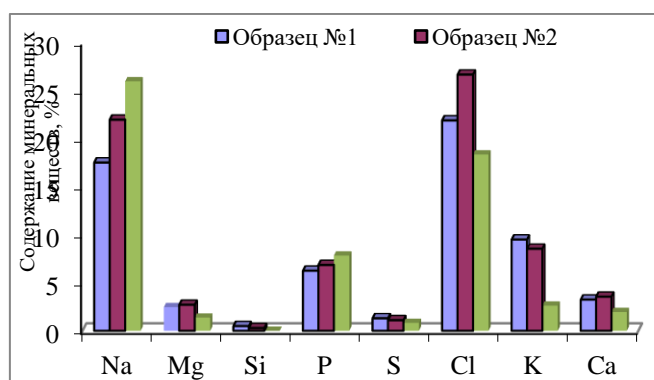


Рисунок 3 – Содержание минеральных веществ в образцах полукопченой колбасы из растительного сырья

### Выводы

Органолептическая оценка полукопченой колбасы из растительного сырья показала, что у третьего образца, соотношение соевого изолята и нута которого составляет 4:1,

консистенция, вкус и запах свойственный полукопченой колбасе, чем остальные разрабатываемый нами образцы.

В результате исследования установлено, что в первом и во втором образце больше минеральных веществ, чем в третьем образце. Учитывая того что объем соевого изолята при связывании с водой увеличивается в 3-5 раз, в колбасе из соевого текстурата и нута больше макро- и микроэлементов чем в колбасе из соевого изолята и нута.

### Список литературы

1. Макарова А.А. Состояние мирового производства растительного сырья как перспективного источника белка для аналоговой мясной продукции / А.А. Макарова, О.В. Пасько. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 3. – С. 12-20.
2. Traditional Plant-based Meat Alternatives, Current, and Future Perspective: a Review / Allah Bakhsh et al // Journal of Agriculture & Life Science. – 2021. – № 55(1). – P. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.14397/jals.2020.55.1.00>.
3. Морозова Л.А. Использование растительных компонентов в технологии тестовых полуфабрикатов повышенной биологической ценности / Л.А. Морозова, И.Н. Миколайчик, А.В. Ильтяков // Инженерное обеспечение в реализации социально-экономических и экологических программ АПК: материалы Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф., Курган: Курганская гос. сельскохоз. академ. им. Т.С. Мальцева», 2020. – С. 278-283.
4. Решетник Е.И. Инновационные аспекты переработки мясного сырья и создание конкурентоспособных продуктов питания / Е.И. Решетник, Т.В. Шарипова // Технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: ДальГАУ, 2015. – Вып. 14. – С. 85-91.
5. Novel Protein Sources for Applications in Meat-Alternative Products-Insight and Challenges / Marcin A. Kurek et al // Foods. – 2022. – № 11(7). – P.957. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11070957>.
6. Разработка инновационной технологии растительно-мясной пищевой композиции / А.С. Мирошник и др. // Пищевая Промышленность. – 2018. – № 6. – С.18-21.
7. Марченко М.В. Экспериментальное обоснование рецептуры растительного заменителя мяса с использованием сои дальневосточной селекции / М.В. Марченко // Новая экономика, бизнес и общество: Сб. матер. апрельской науч.-практ. конф. молодых исслед. / Дальневосточный федеральный унив.-т. – Владивосток, 2022. – С. 1199-1203.
8. Устюгов А.Д. Соя и технологии её переработки / А.Д. Устюгов, И.В. Конин, А.Ю. Рожков // Молодежь и наука. – 2012. – № 1. – С. 2019-2021.
9. Сапрыкина Е.А. Проблема получения искусственных пищевых продуктов / Е.А. Сапрыкина // Инновации: перспективы, проблемы, достижения: Мат. Шестой межд. науч.-практич. конф. / ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова». – Москва, 2018. – С.187-196.
10. Бычкова Е.А. Белковые концентраты сои: технологии производства и перспективы применения / Е.А. Бычкова, А.В. Борисова // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 88-94.
11. Монгуш С.В. Анализ рынка альтернативного мяса в России и за рубежом / С.В. Монгуш, Ю.С. Бойцова, О.Ю. Орлова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук – 2022. – № 4-4(67) – С. 95-99.
12. Пат. 2442430 Российская Федерация, МПК А23J 3/14. Способ получения пищевого продукта-заменителя мяса / Эспелета Вега Алисия, Мора Кастильо Сесар Далмасио; заявитель и патентообладатель Сигма Алиментос С.А. де К.В. (МХ). – № 2009120533/10; заявл. 01.11.2007; опубл.20.02.2012, Бюл. № 5. – 23 с.
13. Joshi VK. Meat Analogues: Plant based alternatives to meat products – A review / VK. Joshi, Kumar Satish // International Journal of Food and Fermentation Technology. – 2015. – Vol. 5, Iss. 2. – P. 107-119.
14. Плечко А.Н. Сравнительный анализ пищевой и биологической ценности мяса и соевого текстурата. Изучение вопроса о предпочтениях использования в своем рационе данных продуктов питания среди различных групп населения / А.Н. Плечко // Актуальные проблемы гигиены и экологической медицины: Сб. мат. VII межвузовской студ. Науч.-практич. интернет-конф. с международным участием / Гродненский государственный медицинский университет. – Гродно, 2021. – С. 153-162.

15. Хоменко И.В. Сравнительная характеристика мяса животного происхождения и соевого мяса / И.В. Хоменко, И.Е. Иванова // Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса: Сб. LVI науч.-практич. конф. Студ., аспирантов и молодых ученых / ФГБОУ ВО «Госуд. аграрный унив-т Северного Зауралья». – Тюмень, 2023. – С. 58-63.
16. 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 Quality and Preference*. – 2022. – Vol. 97. – article 104486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104486>.
17. Pravinraj Moorthi. Mohammad Rashedi Ismail-Fitry and Ishamri Ismail. Physicochemical and Sensory Characteristics of Meatless Nuggets of Boiled Chickpea and in Combination with Oyster Mushroom / Pravinraj Moorthi, Che Abdullah Abu Bakar // *Malaysian Applied Biology*. – 2022. – № 51(6) – P. 17-25. DOI: <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v51i6.2325>.
18. Fatma Boukid. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein as a prospective plant-based ingredient: a review / Fatma Boukid // *International Journal of Food Science & Technology*. – 2021. – Vol. 56, Issue 11. – P. 5435-5444. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15046>.
19. Evaluation of chickpea protein isolate as a partial replacement for phosphate in pork meat batters: Techno-functional properties and molecular characteristic modifications / Yu Wang et al // *Food Chemistry*. – 2023. – Vol. 404, Part A. – article 134585. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134585>.
20. Developments of Plant-Based Emulsion-Type Sausage by Using Grey Oyster Mushrooms and Chickpeas / Md. Anisur Rahman Mazumder et al // *Foods*. – 2023. – № 12(8). – P. 1564. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12081564>.

### References

1. Makarova A.A. Sostoyanie mirovogo proizvodstva rastitel'nogo syr'ya kak perspektivnogo istochnika belka dlya analogovoi myasnoi produktsii / A.A. Makarova, O.V. Pas'ko. // *Vestnik YUURGU. Seriya «Pishchevye i biotekhnologii»*. – 2020. – Т. 8, № 3. – С. 12-20.
2. Traditional Plant-based Meat Alternatives, Current, and Future Perspective: a Review / Allah Bakhsh et al // *Journal of Agriculture & Life Science*. – 2021. – № 55(1). – P. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.14397/jals.2020.55.1.00>.
3. Morozova L.A. Ispol'zovanie rastitel'nykh komponentov v tekhnologii testovykh polufabrikatov povyshennoi biologicheskoi tsennosti / L.A. Morozova, I.N. Mikolaichik, A.V. Il'tyakov // *Inzhenernoe obespechenie v realizatsii sotsial'no-ehkonomicheskikh i ehkologicheskikh programm APK: materialy Vserossiiskoi (natsional'noi) nauch.-prakt. konf., Kurgan: Kurganskaya gos. sel'skokhoz. akadem. im. T.S. Mal'tsevA*, 2020. – С. 278-283.
4. Reshetnik E.I. Innovatsionnye aspekty pererabotki myasnogo syr'ya i sozdanie konkurentosposobnykh produktov pitaniya / E.I. Reshetnik, T.V. Sharipova // *Tekhnologii proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaistvennoi produktsii: sb. nauch. tr. Dal'GAU*. – Blagoveshchensk: Dal'GAU, 2015. – Vyp. 14. – С. 85-91.
5. Novel Protein Sources for Applications in Meat-Alternative Products-Insight and Challenges / Marcin A. Kurek et al // *Foods*. – 2022. – № 11(7). – P. 957. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11070957>.
6. Razrabotka innovatsionnoi tekhnologii rastitel'no-myasnoi pishchevoi kompozitsii / A.S. Miroshnik i dr. // *Pishchevaya Promyshlennost'*. – 2018. – № 6. – С. 18-21.
7. Marchenok M.V. Ehksperimental'noe obosnovanie retseptury rastitel'nogo zamenitelya myasa s ispol'zovaniem soi dal'nevostochnoi selektsii / M.V. Marchenok // *Novaya ehkonomika, biznes i obshchestvo: Sb. mater. aprel'skoi nauch.-prakt. konf. molodykh issled. / Dal'nevostochnyi federal'nyi univ-t. – Vladivostok, 2022. – С. 1199-1203*.
8. Ustyugov A.D. Soya i tekhnologii ee pererabotki / A.D. Ustyugov, I.V. Konin, A.YU. Rozhkov // *Molodezh' i nauka*. – 2012. – № 1. – С. 2019-2021.
9. Saprykina E.A. Problema polucheniya iskusstvennykh pishchevykh produktov / E.A. Saprykina // *Innovatsii: perspektivy, problemy, dostizheniya: Mat. Shestoi mezhd. nauch.-praktich. konf. / FGBOU VO «REHU im. G.V. PlekhanovA»*. – Moskva, 2018. – С.187-196.
10. Bychkova E.A. Belkovye kontsentraty soi: tekhnologii proizvodstva i perspektivy primeneniya / E.A. Bychkova, A.V. Borisova // *Polzunovskii vestnik*. – 2021. – № 2. – С. 88-94.

11. Mongush S.V. Analiz rynka al'ternativnogo myasa v Rossii i za rubezhom / S.V. Mongush, YU.S. Boitsova, O.YU. Orlova // Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk – 2022. – № 4-4(67) – S. 95-99.
12. Pat. 2442430 Rossiiskaya Federatsiya, MPK A23J 3/14. Sposob polucheniya pishchevogo produkta-zamenitelya myasa / Ehspeleta Vega Alisiya, Mora Kastil'o Sesar Dalmasio; zayavitel' i patentoobladatel' Sigma Alimentos, S.A. de K.V. (MX). – № 2009120533/10; zayavl. 01.11.2007; opubl. 20.02.2012, Byul. № 5. – 23 s.
13. Joshi VK. Meat Analogues: Plant based alternatives to meat products – A review / VK. Joshi, Kumar Satish // International Journal of Food and Fermentation Technology. – 2015. – Vol. 5, Iss. 2. – P. 107-119.
14. Plechko A.N. Sravnitel'nyi analiz pishchevoi i biologicheskoi tsennosti myasa i soevogo teksturata. Izuchenie voprosa o predpochteniyakh ispol'zovaniya v svoem ratsione dannykh produktov pitaniya sredi razlichnykh grupp naseleniya / A.N. Plechko // Aktual'nye problemy gigieny i ehkologicheskoi meditsiny: Sb. mat. VII mezhvuzovskoi stud. Nauch.-praktich. internet-konf. s mezhdunarodnym uchastiem / Grodnenskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet. – Grodno, 2021. – S. 153-162.
15. Khomenko I.V. Sravnitel'naya kharakteristika myasa zhivotnogo proiskhozhdeniya i soevogo myasa / I.V. Khomenko, I.E. Ivanova // Dostizheniya molodezhnoi nauki dlya agropromyshlennogo kompleksa: Sb. LVI nauch.-praktich. konf. Stud., aspirantov i molodykh uchenykh / FGBOU VO «Gosud. agrarnyi univ-t Severnogo Zaural'YA». – Tyumen', 2023. – S. 58-63.
16. 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 Quality and Preference. – 2022. – Vol. 97. – article 104486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104486>.
17. Pravinraj Moorthi. Mohammad Rashedi Ismail-Fitry and Ishamri Ismail. Physicochemical and Sensory Characteristics of Meatless Nuggets of Boiled Chickpea and in Combination with Oyster Mushroom / Pravinraj Moorthi, Che Abdullah Abu Bakar // Malaysian Applied Biology. – 2022. – № 51(6). – P. 17-25. DOI: <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v51i6.2325>.
18. Fatma Boukid. Chickpea (Cicer arietinum L.) protein as a prospective plant-based ingredient: a review / Fatma Boukid // International Journal of Food Science & Technology. – 2021. – Vol. 56, Issue 11. – P. 5435-5444. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15046>.
19. Evaluation of chickpea protein isolate as a partial replacement for phosphate in pork meat batters: Techno-functional properties and molecular characteristic modifications / Yu Wang et al // Food Chemistry. – 2023. – Vol. 404, Part A. – article 134585. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134585>.
20. Developments of Plant-Based Emulsion-Type Sausage by Using Grey Oyster Mushrooms and Chickpeas / Md. Anisur Rahman Mazumder et al // Foods. – 2023. – № 12(8). – P. 1564. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12081564>.

### **Информация о финансировании**

*Данные исследования проводились в рамках проекта АР19679729 «Разработка технологии полукопченой колбасы из растительного заменителя мяса функционального назначения» и финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

**Ж.С.Желеуова\*, А.У. Шингисов, А.Р. Тасполтаева, Э.Т. Кансейтова, А.Т. Бердембетова**

М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,  
160012, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Тәуке хан даңғылы, 5  
\*e-mail: zhozi\_tima@mail.ru

### **ӨСІМДІК ШИКІЗАТЫНАН АЛЫНҒАН ЖАРТЫЛАЙ ЫСТАЛҒАН ШҰЖЫҚТЫҢ ОРГАНОЛЕПТИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ МЕН МИНЕРАЛДЫ ҚҰРАМЫН ЗЕРТТЕУ**

*Мақалада өсімдік шикізатынан алынған жартылай ысталған шұжықтың минералдық құрамы мен органолептикалық көрсеткіштерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Өсімдік шикізаты ретінде соя және ноқат таңдалды. Тәжірибелердің нәтижесінде жартылай ысталған шұжық өндірісі үшін соя мен ноқаттың оңтайлы арақатынасы 4:1 болатыны анықталды. Өсімдік шикізатынан алынған*

жартылай ысталған шұжықты органолептикалық бағалау нәтижелері бойынша соя изоляты мен ноқаттың қатынасы 4:1 болатын үшінші үлгінің консистенциясы, иісі мен дәмі басқа әзірленген үлгілерге қарағанда жартылай ысталған шұжыққа тән екендігі анықталды.

Өсімдік шикізатынан алынған жартылай ысталған шұжықтың минералдық құрамын зерттеу негізінде бірінші және екінші үлгілерде үшінші үлгіге қарағанда минералды заттар көп екені дәлелденді. Пісіру кезінде соя изолятының көлемі судың әсерінен 3-5 есе артатындықтан, соя изоляты мен ноқаттан жасалған шұжыққа қарағанда соя текстураты мен ноқаттан жасалған шұжықта макро- және микроэлементтердің мөлшері көп. Алайда, үшінші үлгіде фосфордың мөлшері № 1 және № 2 үлгілермен салыстырғанда сәйкесінше 1,58% және 0,98% жоғары.

Зерттеулер жартылай ысталған шұжықтағы өтті толығымен алмастыратын негізгі ингредиенттер ретінде соя мен ноқатты пайдалану мүмкін және өзекті екенін дәлелдеді.

**Түйін сөздер:** соя, ноқат, соя изоляты, соя текстураты, жартылай ысталған шұжық, өсімдік шикізаты, минералды құрамы.

**Zh.S. Zheleuova\*, A.U. Shingisov, A.P. Taspoltayeva, E.T. Kanseitova, A.T. Berdembetova**

M. Auezov South Kazakhstan university,  
160012, Republic of Kazakhstan, Shymkent, Tauke Khan Ave., 5  
\*e-mail: zhozi\_tima@mail.ru

### **INVESTIGATION OF ORGANOLEPTIC PARAMETERS AND MINERAL COMPOSITION OF SEMI-SMOKED SAUSAGE FROM VEGETABLE RAW MATERIALS**

*The article presents the results of a study of the mineral composition and organoleptic evaluation of semi-smoked sausage from vegetable raw materials. Soy and chickpeas were selected as vegetable raw materials. As a result of experiments, it was revealed that the optimal ratio of soy and chickpeas for the production of semi-smoked sausage is 4:1. According to the results of an organoleptic evaluation of semi-smoked sausage from vegetable raw materials, it was found that the third sample, the ratio of soy isolate and chickpeas of which is 4:1, had a consistency, smell and taste more characteristic of semi-smoked sausage than the rest of the samples being developed.*

*Based on studies of the mineral composition of semi-smoked sausage from vegetable raw materials, it is proved that there are more minerals in the first and second samples than in the third sample. Since soy isolate increases 3-5 times during cooking due to binding to water, soy texturate and chickpea sausage contains more macro- and microelements than soy isolate and chickpea sausage. However, the third sample contains 1.58% and 0.98% more phosphorus compared to samples № 1 and № 2, respectively.*

*Research has proven that the use of soy and chickpeas as the main ingredients, completely replacing meat in semi-smoked sausage, is possible and relevant.*

**Key words:** soy, chickpeas, soy isolate, soy texturate, semi-smoked sausage, vegetable raw materials, mineral composition.

#### **Сведения об авторах**

**Жазира Сулеевна Желеуова\*** – PhD, доцент кафедры «Технология и безопасность продовольственных продуктов»; Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан; e-mail: zhozi\_tima@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-7392>.

**Азрет Утебаевич Шингисов** – доктор технических наук, доцент кафедры «Технология и безопасность продовольственных продуктов»; Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан; e-mail: azret\_utebai@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0726-8232>.

**Айбала Рысбековна Тасполтаева** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевая инженерия»; Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан; e-mail: aibala.taspoltayeva.69@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0286-4721>.

**Эльмира Тагайевна Кансейтова** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры «Технология и безопасность продовольственных продуктов»; Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан; e-mail: kanseitova@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8275-5786>.

**Айнур Туймебаевна Бердембетова** – докторант, старший преподаватель кафедры «Технология и безопасность продовольственных продуктов»; Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан; e-mail: ainura\_13.84@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7717-2373>.

#### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Жазира Сулеевна Желеуова\*** – «Азық-түлік өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының PhD, доценті; М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: zhozi\_tima@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-7392>.

**Азрет Утебаевич Шингисов** – «Азық-түлік өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының техника ғылымдарының докторы, доцент; М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті; e-mail: azret\_utebai@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0726-8232>.

**Айбала Рысбековна Тасполтаева** – «Тамақ инженериясы» кафедрасының техника ғылымдарының кандидаты, доцент; М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: aibala.taspoltaeva.69@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0286-4721>.

**Эльмира Тагайевна Кансейтова** – «Азық-түлік өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының ауылшаруашылығы ғылымдарының кандидаты, аға оқытушысы; М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: kanseitova@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8275-5786>.

**Айнұр Түймебаевна Бердембетова** – «Азық-түлік өнімдерінің технологиясы және қауіпсіздігі» кафедрасының докторанты, аға оқытушысы; М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: ainura\_13.84@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7717-2373>.

#### Information about authors

**Zhazira Suleevna Zheleuova\*** – PhD, associate professor of the department «Technology and safety of food products»; M. Auezov South Kazakhstan university, Republic of Kazakhstan; e-mail: zhozi\_tima@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5171-7392>.

**Azret Utebaevich Shingisov** – doctor of technical sciences, associate professor of the department «Technology and safety of food products»; M. Auezov South Kazakhstan university, Republic of Kazakhstan; e-mail: azret\_utebai@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0726-8232>.

**Aibala Rysbekovna Taspoltaeva** – candidate of technical sciences, associate professor of the department «Food engineering»; M. Auezov South Kazakhstan university, Republic of Kazakhstan; e-mail: aibala.taspoltaeva.69@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0286-4721>.

**Elmira Tagayevna Kanseitova** – candidate of agricultural sciences, senior lecturer of the department «Technology and safety of food products»; M. Auezov South Kazakhstan university, Republic of Kazakhstan; e-mail: kanseitova@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8275-5786>.

**Ainur Tuimebaevna Berdembetova** – doctoral student, senior lecturer of the department «Technology and safety of food products»; M. Auezov South Kazakhstan university, Republic of Kazakhstan; e-mail: ainura\_13.84@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7717-2373>.

Поступила в редакцию 20.05.2024

Поступила после доработки 04.07.2024

Принята к публикации 13.08.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-18](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-18)



МРНТИ: 65.09.03

**Д.Б. Тоймбаева\***, **И.Ж. Темирова<sup>1</sup>**, **А.Б. Альдиева<sup>1</sup>**, **Д.Д. Хамитова<sup>1</sup>**, **Г.Х. Оспакулова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева, 020000, Республика Казахстан, Шортандинский р., п. Научный, ул. А. Бараева 15

<sup>2</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, 010000, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Женис, 62

\*e-mail: bio.dana@mail.ru

### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЦЕЛЬНОЗЕРНОВЫХ И БОБОВЫХ КУЛЬТУР

**Аннотация:** Зерновые продукты являются основным элементом обеспечения продовольственной безопасности населения. В последние годы спрос на цельнозерновые продукты значительно возрос. Цельнозерновые продукты обладают высокой питательностью благодаря сбалансированному содержанию аминокислот и других макро- и микроэлементов. Целью настоящего исследования является изучение химического и аминокислотного состава цельнозернового сырья, таких как зерно тритикале сорта «Даурен», зерно гречихи сорта «Дикуль», зерно чечевицы сортов «Сакура», «Шырайлы».

В результате проведения химического исследования установлено, что бобовые культуры отличаются высоким содержанием белка, которое примерно в два раза выше, чем в цельнозерновых, их содержание составило 28,75% и 24,67%. Анализ проведенных исследований показал, что аминокислотный состав белка цельнозерновых и бобовых культур характеризуется высоким содержанием незаменимых аминокислот. В бобовых культурах преобладает содержание



*аргинина и лизина по сравнению с цельнозерновыми культурами. Бобовые культуры обладают большим содержанием белка, чем цельнозерновые, что делает их важными для увеличения пищевой ценности продуктов питания при их смешивании. Дополнительно исследовались различные методы обработки и их влияние на сохранение питательных свойств.*

**Ключевые слова:** зерно, бобовые культуры, аминокислоты, химический состав, продовольственная безопасность, тритикале.

## **Введение**

В последние годы спрос на цельнозерновые продукты значительно возрос с повышенным интересом к более здоровым продуктам во всем мире. Зерно и продукты из него оказывают признанное влияние как на животных, так и на рацион человека [1]. Несмотря на потенциальную пользу для здоровья, большинство зерновых продуктов производятся из рафинированных зерен злаков, которые содержат мало пищевых волокон и имеют меньшую пользу для здоровья по сравнению с цельными зёрнами [2]. Цельное зерно и цельнозерновые продукты способствуют здоровому и устойчивому питанию на растительной основе. Цельнозерновая мука богата питательными веществами, чем рафинированная мука, поскольку она сохраняет как зародышевые, так и отрубные части зерна злака, которые удаляются из крахмалистого эндосперма в процессе рафинирования [3].

Цельнозерновые продукты являются богатым источником фитохимических веществ, пищевых волокон, сложных углеводов, белков, минералов, липидов и витаминов, которые могут способствовать улучшению здоровья, помимо простого обеспечения питанием и энергией. Они очень питательны благодаря сбалансированному аминокислотному составу и другому составу макро- и микроэлементов [4]. К тому же, они являются частью сбалансированной диеты, имеющей функциональные характеристики, обладающие лечебными свойствами. Цельнозерновые продукты оказывают благотворное влияние на ряд заболеваний, связанных с образом жизни, такие как сердечно-сосудистые заболевания, запоры, рак толстой кишки, диабет II типа, контроль веса [5], а также влияют на полезный метаболизм глюкозы, липидов крови, ожирение. и маркеры воспаления [6]. Высокое потребление цельнозерновых продуктов снижает риск смертности [7].

Отсутствие сбалансированного питания и продовольственных культур с низким содержанием незаменимых аминокислот и микроэлементов, таких как минералы, приводит к недоеданию [8].

Большинство зерновых культур, за исключением ржи, испытывают дефицит лизина, а иногда и триптофана и треонина [9]. Лизин является наиболее важной аминокислотой, определяющей пищевую ценность зерна. Второй лимитирующей аминокислотой является триптофан [10]. Однако, по мнению Stankiewicz (2005), наиболее важной аминокислотой, ограничивающей биологическую ценность белка тритикале, является лизин, за которым следует валин [11]. Другие исследования подтвердили роль лизина, но они также указали на важность изолейцина и метионина [12].

Тритикале может сыграть значительную роль на растущем рынке здоровых продуктов питания и в разработке новых зерновых продуктов. Тритикале (X Triticosecale Wittmack) – гибрид геномов А и В пшеницы (*Triticum turgidum* L., *Triticum aestivum* L.) и генома R ржи (*Secale Cereale* L.), созданный для сочетания высокой урожайности и хорошего качества зерна пшеницы (универсальное пищевое применение) с устойчивостью к болезням и экологической толерантностью ржи (устойчивостью к суровым условиям выращивания) [13]. Более высокое содержание лизина, лучшая усвояемость белка и лучший минеральный баланс делают тритикале особо подходящим в качестве замены (или дополнения) других зерновых культур в продуктах питания человека и кормах для животных. Продукты тритикале для человеческого потребления, такие как хлопья и мука, доступны в продаже, однако только в специализированных магазинах здорового питания. Большая часть тритикале, производимого во всем мире, используется в животных кормах. Тритикале имеет более высокое содержание белка, чем пшеница, а также более благоприятный аминокислотный баланс [14]. В последние десятилетия из-за низкой калорийности, большого количества ненасыщенных жирных кислот, профиля незаменимых аминокислот и потенциальной антиоксидантной активности [15, 16] повышенное внимание производителей продуктов питания и потребителей привлекает гречиха.

Бобовые являются отличным растительным источником незаменимой аминокислоты лизина в вегетарианских диетах на основе злаков [17].

Целью данного исследования является изучение химического и аминокислотного состава цельнозернового сырья, таких как зерно тритикале сорта «Даурен», зерно гречихи сорта «Дикуль», зерно чечевицы сортов «Сакура», «Шырайлы».

#### Методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны один сорт зерновой культуры ярового тритикале «Даурен» селекции НАО «КазАТУ им. С. Сейфуллина», два сорта чечевицы «Сакура», «Шырайлы» приобретенные у Научно-производственного центра зернового хозяйства имени А.И. Бараева, один сорт нута «Приво 1» предоставленный «НАО «КазАТУ им. С. Сейфуллина», один сорт гречихи «Дикуль».

Общее содержание белка определяли на полуавтоматическом комплексе (Кельтран 4005, Сибагроприбор, Россия), который включает дигестор, скрубер, блок дистилляции, титрование проводилось вручную, согласно методу АОАС 2011.11 «Белок (сырой) в животных кормах, тканях растений, зерне и масличных культурах», метод блочного озоления с использованием катализатора медного купороса с паровой дистилляцией в борную кислоту [18].

Определение массовой доли углеводов определяли перманганатометрическим методом по ГОСТ 26176-2019 «Корма, комбикорма. Методы определения растворимых и легкогидролизуемых углеводов». Аминокислотный состав определяли методом М 04-38-2009 капиллярного зонного электрофореза на приборе Капель М-105. Зольность определяется путем сжигания (озоления) навески муки 1,5...2,0 мг в муфельной печи в соответствии с ГОСТ 27494-2016 «Мука и отруби». Влажность определяли по ГОСТ 13586.5 – 2015 Зерно. Метод определения влажности. Жир определяли методом сокслета по ГОСТ 15113.9-77 Концентраты пищевые. Методы определения жира.

#### Результаты исследований

Химический состав цельнозерновых и бобовых культур зависит от вида, сорта и других факторов. С целью оценки питательной ценности были проведены исследования химического состава образцов различных видов и сортов цельнозерновых и бобовых культур. Результаты химического состава изучаемых 5 образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав зерновых и бобовых культур

Наименование образца	Влажность, % (с/в)	Сырой белок, % (с/в)	Жир, %	Углеводы, % (с/в)	Зольность, % (с/в)
Зеленая гречиха «Дикуль»	9,92 ± 0,03	13,14 ± 0,67	2,37 ± 0,03	64,48 ± 2,01	1,55 ± 0,02
Тритикале «Даурен»	11,12 ± 0,02	13,82 ± 0,01	1,81 ± 0,14	56,22 ± 1,38	1,48 ± 0,02
Чечевица «Сакура»	9,7 ± 0,10	28,75 ± 0,36	1,07 ± 0,02	55,87 ± 1,05	1,72 ± 0,01
Чечевица «Шырайлы»	9,71 ± 0,02	24,67 ± 1,50	1,27 ± 0,02	54,10 ± 1,65	1,70 ± 0,02
Нут «Приво 1»	9,65 ± 0,05	16,78 ± 0,14	4,99 ± 0,01	50,72 ± 1,13	1,82 ± 0,04

Из результатов можно заметить, что влажность во всех образцах (9,65-9,92%) была приблизительно на одинаковом уровне за исключением тритикале сорта «Даурен» – 11,12%. Бобовые культуры «Сакура» и «Шырайлы» имеют высокое содержание белка, которое примерно в два раза выше, чем в цельнозерновых, их содержание составило – 28,75 и 24,67% соответственно. Низкое содержание белка обнаружено у сорта гречихи «Дикуль» – 13,14%. По сравнению с другими культурами нут сорта «Приво 1» отличался высоким содержанием жира – 4,99 %, и низкое содержание жира отмечено у чечевицы сорта «Сакура» – 1,07 ± 0,02 %. Высокое содержание углеводов определено у гречихи сорта «Дикуль» и тритикале сорта «Даурен» – 64,48 и 56,22% соответственно. Низким содержанием углеводов обладал нут сорта «Приво 1» (50,72 %). Зольность во всех образцах была приблизительно на одном уровне (1,48-1,82%), тем не менее у трех сортов бобовых культур показатели были сравнительно выше.

Аминокислоты являются строительными блоками белков. Они предоставляют информацию о питательных качествах и функциональности белка [19]. Качество белка в пищевых продуктах является серьезной проблемой питания, которая раскрывает потенциальную способность пищевого белка и его способность обеспечивать соответствующую структуру диетических незаменимых или незаменимых аминокислот [20].

Содержание аминокислотного состава цельнозерновых и бобовых культур представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Аминокислотный состав зерновых и бобовых культур

Аминокислотный состав	Тритикале сорта «Даурен»	Гречиха сорта «Дикуль»	Нут сорта «Приво 1»	Чечевица сорта «Сакура»	Чечевица сорта «Шырайлы»
Аргинин, % заменимые	1,580±0,632	1,836±0,734	1,134±0,454	1,640±0,656	3,476±1,390
Лизин, % не заменимые	0,428±0,146	0,612±0,208	0,885±0,301	1,804±0,613	1,576±0,536
Тирозин, %	0,265±0,080	0,275±0,083	0,415±0,124	0,656±0,197	0,533±0,1602
Фенилаланин, %	0,750±0,225	0,490±0,147	0,885±0,266	1,558±0,467	1,228±0,368
Гистидин, %	0,402±0,201	0,337±0,168	0,415±0,207	0,820±0,410	0,510±0,255
Лейцин+Изолейцин, %	1,580±0,411	0,673±0,175	1,162±0,302	2,242±0,583	1,692±0,440
Метионин, %	0,455±0,155	0,306±0,104	0,332±0,113	0,328±0,112	0,301±0,102
Валин, %	0,857±0,343	0,704±0,282	0,858±0,343	1,777±0,711	1,275±0,510
Пролин, %	2,945±0,766	0,765±0,199	1,024±0,266	1,914±0,498	1,298±0,337
Треонин, %	0,723±0,289	0,490±0,196	0,747±0,299	1,340±0,536	1,089±0,436
Серин, %	0,884±0,230	0,643±0,167	0,913±0,237	1,777±0,462	1,344±0,349
Аланин, %	0,830±0,216	0,704±0,183	0,802±0,209	1,777±0,462	1,228±0,319
Глицин, %	0,535±0,182	0,398±0,135	0,360±0,122	0,738±0,251	0,788±0,268

Полученные данные свидетельствует о том, что аминокислотный состав белка всех изучаемых нами сортов бобовых и зерновых культур характеризуется высоким содержанием незаменимых аминокислот.

Следует отметить, что максимальное содержание аргинина отмечалось у чечевицы сорта «Шырайлы» и гречихи сорта «Дикуль» – 3,476% и 1,836% соответственно, чечевица сорта «Сакура» – 1,640% и тритикале сорта «Даурен» – 1,580%. Меньше всего данной аминокислоты содержалось у нута сорта «Приво 1» – 1,134%. По сравнению с другими культурами низкое содержание лизина была отмечено у тритикале сорта «Даурен» (0,428%).

Большим содержанием лизина отличались сорта чечевицы «Сакура» (1,804%) и «Шырайлы» (1,576%). Сорт чечевицы «Сакура» отличался от других культур наибольшим содержанием тирозина, фенилаланина, гистидина, лейцина + изолейцина, валина, треонина, серина и аланина. Наибольшее содержание пролина отмечено у сорта тритикале «Даурен» и у сорта чечевицы «Сакура» – 2,945% – 1,914% соответственно.

#### Обсуждение научных результатов

В результате проведения химического исследования установлено, что бобовые культуры отличаются высоким содержанием белка. Среди цельнозерновых культур повышенным содержанием белка после бобовых культур обладал тритикале сорта «Даурен». Анализ проведенных исследований показал, что аминокислотный состав белка цельнозерновых и бобовых культур характеризуется высоким содержанием незаменимых аминокислот. У бобовых культур содержание аргинина и лизина преобладало по сравнению с цельнозерновыми культурами. Высокое содержание пролина определено в зерне сорта тритикале «Даурен». Среди всех изучаемых культур низкое содержание лизина отмечено у сортов тритикале. Содержание метионина было на одном уровне во всех изучаемых культурах. В зерне таких культур как тритикале и гречиха наиболее низкой по содержанию аминокислотой был определен тирозин.

#### Заключение

Таким образом, в результате исследований химического состава установлено, что пищевая ценность бобовых культур преобладала по сравнению с цельнозерновыми культурами. Установлено, что у бобовых культур количество аминокислот по сравнению с цельнозерновыми культурами имеет более высокое значение в процентном соотношении. Следовательно, для будущих исследований при производстве пищевой продукции смешивание цельнозерновых культур с бобовыми культурами дает возможность увеличить пищевую ценность продукта.

#### References

1. Spaggiari M. Food Safety Management of Whole Grains / M. Spaggiari, C. Dall'Asta, G. Galaverna // Whole Grains: Processing, Product Development, and Nutritional Aspects. – 2019. – С. 281-292.

2. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size / J. Bressiani et al // Journal of Cereal Science. – 2017. – Т. 75. – С. 269-277.
3. Chan, H.T. School of Public Health. What is the Supply Chain. [online] Available at: [http://www.chgharvard.org/sites/default/files/lesson-plan-files/lesson\\_](http://www.chgharvard.org/sites/default/files/lesson-plan-files/lesson_).
4. Wholegrains: A review on the amino acid profile, mineral content, physicochemical, bioactive composition and health benefits / F.M. Allai et al // International Journal of Food Science & Technology. – 2022. – Т. 57. – №. 4. – С. 1849-1865.
5. Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses / A. Reynolds et al // The Lancet. – 2019. – P. 434-445.
6. Whole grain rich diet reduces body weight and systemic low-grade inflammation without inducing major changes of the gut microbiome: a randomised cross-over trial / H.M. Roager et al // Gut. – 2019. – С. 83-93.
7. Consumption of whole grains and cereal fiber and total and cause-specific mortality: prospective analysis of individuals / T. Huang et al // BMC Medicine. – 2015. – V. 13. – С. 59.
8. Yu S. Breeding major cereal grains through the lens of nutrition sensitivity / S. Yu, L. Tian // Molecular plant. – 2018. – V. 11. – С. 23-30.
9. Nutrition value and use of grain amaranth: potential future application in bread making / S.G. Mlakar et al // Agricultura. – 2009. – V. 6. – С. 1.
10. Jaśkiewicz B. Amino acids content in triticale grain depending on meteorological, agrotechnical and genetic factors / B. Jaśkiewicz, M. Szczepanek // Research for Rural Development. – 2018. – Т. 2, № 5. – С. 28-34.
11. Stankiewicz Cz. Skład aminokwasowy i wartość biologiczna białka pszenżyta jarego w zależności od gęstości wysiewu i stosowanych herbicydów (Effect of the sowing density and herbicides on the composition of amino acids and biological value of spring triticale protein). Acta Scientiarum Polonorum / Cz. Stankiewicz // Agricultura. – 2005. – V. 4(1). – С.127-139. (in Polish).
12. Brzozowska I. Effect of various methods of weed control and nitrogen fertilisation on biological value of winter triticale grain protein / I. Brzozowska, J. Brzozowski, M. Hruszka // Fragmenta Agronomica. – 2009. – V. 26. – С. 16-25. (in Poland).
13. Impact of form and dose of nitrogen fertilizers on the technological value of spring triticale / S. Stankowski et al // Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zotech. – 2017. – V. (43)3. – С. 167-178. <https://doi.org/10.21005/AAPZ2017.43.3.18/>
14. Biel W. Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains / W. Biel, K. Kazimierska, Bashutska U. // Acta Scientiarum Polonorum Zootechnica. – 2020. – Т. 19, № 2. – С. 19-28.
15. Bonafaccia G. Composition and technological properties of the flour and bran from Common and Tartary buckwheat / G. Bonafaccia, M. Marocchini, I. Kreft // Food Chemistry. – 2003. – V. 80(1). – С. 9-15. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00228-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00228-5).
16. Hung P.V. Distribution of phenolic compounds in the graded flours milled from whole buckwheat grains and their antioxidant capacities / P.V. Hung, N. Morita // Food Chemistry. – 2008. – V. 109(2). – С. 325-331. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.060>.
17. Amino acid digestibility of extruded chickpea and yellow pea protein is high and comparable in moderately stunted South Indian children with use of a dual stable isotope tracer method / Devi, Sarita et al // The Journal of nutrition. – 2020. – № 5. – С. 1178-1185.
18. Bradford M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding / M.M. Bradford // Analytical biochemistry. – 1976. – Vol. 72, № 1-2. – С. 248-254.
19. Wardlaw's Perspectives in Nutrition (Nineth) / G. Byrd-Bredbenner et al // Mc-Graw Hill. – 2013.
20. Food and Agriculture Organization / Dietary protein quality evaluation in human nutrition Report of an FAO Expert Consultation. – 2013.
21. Consultation F.E. Dietary protein quality evaluation in human nutrition / F.E. Consultation // FAO Food Nutr. Pap. – 2013. – V.92. – С. 1-66.

### **Информация о финансировании**

*Данное исследование было профинансировано Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан «BR 21882327 Разработка новых технологий органического производства и переработки сельскохозяйственной продукции».*

**Д.Б. Тоймбаева\***, **И.Ж. Темирова<sup>1</sup>**, **А.Б. Альдиева<sup>1</sup>**, **Д.Д. Хамитова<sup>1</sup>**, **Г.Х. Оспакулова<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>А.И. Бараева атындағы ғылыми-зерттеу астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы, 020000, Қазақстан Республикасы, Шортанды ауданы, Научный ауылы, А. Бараева көшесі 15  
<sup>2</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жеңіс даңғылы, 62  
\*e-mail: bio.dana@mail.ru

## **ДӘНДІ ЖӘНЕ БҰРШАҚ DAҚЫЛДАРЫНЫҢ САПАСЫН БАҒАЛАУ**

*Астық өнімдері халықтың азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудің негізгі элементі болып табылады. Соңғы жылдары дәнді дақылдарға сұраныс айтарлықтай өсті. Дәнді дақылдар аминқышқылдары мен басқа макро және микроэлементтердің теңдестірілген құрамына байланысты жоғары қоректік заттарға ие. Осы зерттеудің мақсаты «Дәурен» сортының тритикале дәні, «Дикул» сортының қарақұмық дәні, «Сакура», «Шырайлы» сортының жасымық дәні сияқты тұтас астық шикізатының химиялық және аминқышқылдық құрамын зерттеу болып табылады. Химиялық зерттеу нәтижесінде бұршақ дақылдарының құрамында ақуыз мөлшері жоғары екендігі анықталды, бұл дәнді дақылдарға қарағанда шамамен екі есе жоғары, олардың мөлшері 28.75 % және 24.67% құрады. Жүргізілген зерттеулердің талдауы дәнді дақылдар мен бұршақ дақылдары ақуызының аминқышқылдық құрамы маңызды аминқышқылдарының жоғары құрамымен сипатталатынын көрсетті. Бұршақ дақылдарында дәнді дақылдармен салыстырғанда аргинин мен лизин мөлшері басым. Бұршақ дақылдарының құрамында дәнді дақылдарға қарағанда ақуыз көп, бұл оларды араластыру кезінде тағамның тағамдық құндылығын арттыру үшін маңыздылығын арттырады. Әрі қарай әртүрлі өңдеу әдістері және олардың қоректік қасиеттерін сақтауға әсері зерттелді.*

**Түйін сөздер:** бұршақ дақылдары, амин қышқылдары, химиялық құрамы, азық-түлік қауіпсіздігі, тритикале.

**D.B. Toimbayeva\***, **I.J. Temirova<sup>1</sup>**, **A.B. Aldieva<sup>1</sup>**, **D.D. Khamitova<sup>1</sup>**, **G.H. Ospankulova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>A.I. Barayev research and production centre for grain farming, 020000, Republic of Kazakhstan, Shortandynskiy p., c.Nauchniy, Barayev street 15,

<sup>2</sup>Kazakh Agrotechnical research university named after S.Seifullin 010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Zhenis av. 62

\*e-mail: bio.dana@mail.ru

## **EVALUATION OF THE QUALITY OF WHOLE GRAINS AND LEGUMES**

*Grain products are a fundamental element in ensuring food security for the population. In recent years, the demand for whole grain products has significantly increased. Whole grain products are highly nutritious due to their balanced content of amino acids and other macro- and microelements. The aim of this study is to investigate the chemical and amino acid composition of whole grain raw materials such as triticale grain of the «Dauren» variety, buckwheat grain of the «Dikul» variety, and lentil grains of the «Sakura» and «Shyrayly» varieties. The chemical research revealed that whole leguminous crops have a high protein content, which is approximately twice as high as that of whole grains, with protein content values of 28,75% and 24,67%, respectively. The analysis of the conducted studies showed that the amino acid composition of the proteins in whole grains and whole leguminous crops is characterized by a high content of essential amino acids. Leguminous crops have a higher content of arginine and lysine compared to whole grains. Whole leguminous crops have a higher protein content than whole grains, making them important for increasing the nutritional value of food products when mixed. Additionally, various processing methods and their effects on preserving nutritional properties were studied.*

**Key words:** grain, leguminous crops, amino acids, chemical composition, food security, triticale.

### **Сведения об авторах**

**Дана Болатовна Тоймбаева\*** – магистр техники и технологии; Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А.И. Бараева, Республика Казахстан; e-mail: bio.dana@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9595-0559>.

**Индира Жанатовна Темирова** – магистр технических наук; Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А.И. Бараева, Республика Казахстан; e-mail: indira\_t85@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9717-3236>.

**Акмарал Беимбетовна Альдиева** – бакалавр химии; Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А.И. Бараева, Республика Казахстан; e-mail: Akylinaakmaral@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1078-928X>.

**Дина Дауреновна Хамитова** – Научно-производственный центр зернового хозяйства имени А.И. Бараева, Республика Казахстан; e-mail: dina.khamitova@nu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9265-8496>.

**Гульназым Хамитовна Оспанкулова** – кандидат биологических наук; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Дана Болатовна Тоймбаева\*** – техника және технология магистрі; А.И. Бараева атындағы ғылыми-зерттеу астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы, Қазақстан Республика; e-mail: bio.dana@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-с9595-0559>.

**Индира Жанатовна Темирова** – техника ғылымдарының магистрі; А.И. Бараева атындағы ғылыми-зерттеу астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы, Қазақстан Республика; e-mail: indira\_t85@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9717-3236>.

**Акмарал Беимбетовна Альдиева** – химия бакалавры; А.И. Бараева атындағы ғылыми-зерттеу астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы, Қазақстан Республика; e-mail: Akylinaakmaral@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1078-928X>.

**Дина Дауреновна Хамитова** – А.И. Бараева атындағы ғылыми-зерттеу астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы, Қазақстан Республика; e-mail: dina.khamitova@nu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9265-8496>.

**Гульназым Хамитовна Оспанкулова** – биология ғылымдарының кандидаты; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

#### Information about the authors

**Dana Bolatovna Toimbayeva\*** – Master of Engineering and Technology; Scientific and Production Center for Grain Farming named after A.I. Barayev, Republic of Kazakhstan; e-mail: bio.dana@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9595-0559>.

**Indira Zhanatovna Temirova** – Master of Technical Sciences; Scientific and Production Center for Grain Farming named after A.I. Barayev, Republic of Kazakhstan; e-mail: indira\_t85@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9717-3236>.

**Akmaral Beimbetovna Aldiyeva** – Bachelor of Chemistry; Scientific and Production Center for Grain Farming named after A.I. Barayev, Republic of Kazakhstan; e-mail: Akylinaakmaral@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1078-928X>.

**Dina Daurenovna Khamitova** – Scientific and Production Center for Grain Farming named after A.I. Barayev, Republic of Kazakhstan; e-mail: dina.khamitova@nu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9265-8496>.

**Gulnazym Khamitovna Ospankulova** – Candidate of Biological Sciences; Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Republic of Kazakhstan; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

Поступила в редакцию 24.06.2024

Поступила после доработки 19.08.2024

Принята к публикации 20.08.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-19](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-19)

FTAXP: 65.33.03



**Т.Б. Ахлан\*, А.К. Изембаева<sup>1</sup>, Н. Гул<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Алматы технологиялық университеті,  
050012, Алматы қ., Төле би к-сі, 100

<sup>2</sup>Сулейман Демирель университеті  
32260, Туркия, Испарта қ., Чюнур

\*e-mail: togzhan.akhlan@yandex.kz

## ЭКСТРУЗИЯ ҮДЕРІСІНДЕ ӨСІМДІК ШИКІЗАТЫН ПАЙДАЛАНУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

**Аңдатпа:** Экструзия – әмбебаптығы, икемділігі, жоғары өнімділігі, төмен құны және энергия тиімділігі арқасында кеңінен қолданылатын термомеханикалық маңызды процестердің бірі болып саналады. Ғалымдар дәстүрлі емес өсімдік шикізаттарын пайдалана отырып, тікелей көбіктенетін тағамдар, таңғы ас және макарон өнімдері сияқты экструдталған өнімдердің тағамдық құндылығын зерттеу отырып, рецептурасын әзірледі. Әр түрлі өсімдік шикізаттарын экструзиялық өңдеу кезінде соңғы өнімдерге әсер ететін химиялық құрамы мен функционалдық қасиеттері бойынша

көптеген сипаттамаларға ие. Бұл дәстүрлі емес өсімдік шикізаттарын экструзияда практикалық қолдану үшін олардың шикізат қоспалары мен эктрудталған өнімдердің сапасына әсерін түсіну өте маңызды.

Мақалада эктрудерленген тағам өнімдерінің құрамына дәстүрлі емес өсімдік шикізатын қосудың теориялық негіздері көрсетілген. Экструзиялық өңдеу арқылы өсімдік шикізатынан өнімдер жасау әртүрлі тағамдық қасиеттері мен функционалдық сипаттамалары бар өнімдерді алудың экологиялық қауіпсіз әдісі болып табылады. Осы тақырыпқа арналған ғылыми мақалаларды талдау кезінде экструзия дәстүрлі емес өсімдік шикізатын тағамға өңдеудің ең тиімді әдістерінің бірі екендігі анықталды. Зерттеу барысында эктрудтау өсімдік шикізаты ингредиенттерінің сіңімділігін арттыра алатыны, сондай-ақ қоректік заттарға қарсы факторлардың санын азайтатыны анықталды.

**Түйін сөздер:** экструзия, эктрудат, өсімдік шикізаты, снэк өнімдері, эктрудат қасиеттері, тағамдық құндылық.

## Кіріспе

XXI ғасырдағы өмір салтының қарқынына және аурулар санының күрт артуына байланысты, азық-түлік өндірісінде жаңа рецептуралар мен технологияларды дамыту қолға алынуда. Азық-түлік сапасы мен қауіпсіздігіне қатысты мәселелерді шешудің бірден-бір жолы ретінде азық-түлік нарығын инновациялық дамуытуды айтуға болады. Бұл салада жұмыс жасайтын ғалымдар мен өнеркәсіптік кәсіпорындар тағамдық құндылығы жоғары және экономикалық тұрғыдан тұтынушыларға тиімді өнімдерді өндіру барысында өсімдік тектес жаңа шикізат түрлерін қолдануда, сондай-ақ шикізатты өңдеуде жаңа технологияларды дамыту үшін үнемі ғылыми зерттеу жұмыстарымен айналысуда.

Тамақ өнеркәсібінде, әсіресе соңғы үш онжылдықта, эктрудерлерді қолдануда айтарлықтай алдыға жылжулар байқалуда. Экструзия – азық-түлік өнеркәсібінің әр түрлі саласында (қайта өңдеу өнеркәсібі, азық-түлік өнімдерінің қаптамасы өндірісінде және т.б.) сұранысы артып келе жатқан ең танымал технологиялардың бірі болып саналады. «Экструзия» сөзі латын тілінен аударғанда итеру немесе күшпен ығыстыру дегенді білдіреді. Эктрудерлерді әр түрлі шикізат құрамдарын аралық және дайын өнімге айналдыра алатын жоғары температуралы қысқа мерзімді құрылғылар ретінде сипаттауға болады. Бұл әдісті тамақ өнеркәсібі салаларында тамақ экструзиясы деп атайды [1-4]. Экструзиялық өңдеу әмбебап әдіс болып табылады, себебі жабдықтың жұмысын әр түрлі кең ауқымда реттей отырып, керекті параметрлерге өзгерту, соңғы өнімнің сапасын әр түрлі болуына әсерін тигізеді.

Тамақ өнімдерін экструзиялық жолмен өңдеу нәтижесінде химиялық құрамы, физикалық қасиеттері және де органолептикалық сипаттамалары өзгеріске ұшырайды. Экструзия жолымен снэк өнімдерін алуда өңдеуге көптеп ұшырайтын дақылдар мен дәндер – жүгері, бидай, күріш, арпа, қара бидай, тритикале; жармалар - қарақұмық, амарант, киноа және чиа; сонымен қатар бұршақ дақылдары – бұршақ, ноқат, үрмебұршақ пен жасымық; майлы дақылдар – зығыр, жаңғақ, асқабақ дәнегі, күнжіт және зығыр тұқымдары жатады. Дәнді дақылдар мен бұршақтар, жеміс-жидектер мен көкөністер секілді өсімдік шикізаттарының қоспасы экструзиялық өңдеуде дайын өнімді ақуызбен, тағамдық талшықтар және микроэлементтермен байыту үшін қолданылады [5-8]. Жемістердің шырыны, жұмсағы мен ұнтағы, көкөніс ұнтағы, кептірілген жеміс, көкөніс бөліктері секілді өндірістік қоспаларды пайдалану жаңа функционалды өнімдерді алуда болашағы зор болып табылады.

Жемістер көп мөлшерде С дәрумені мен А провитаминыне, ал көкөністер фосфор, күкірт, темір және кальций секілді минералдарға бай. Дәрумендер мен минералдардан басқа жемістер мен көкөністер денсаулықты нығайтуға және канцерогенге қарсы әсері бар маңызды фитохимиялық заттарды қамтиды. Бұршақ тұқымдарын тұтыну тек тағамдық құндылығы жағынан ғана маңызды емес, сонымен қатар флавоноид, токоферол, каротиноид, май қышқылдары секілді биологиялық активті заттардың көзі болып табылады. Дәнді-бұршақ дақылдары ақуыздың, қанттың, тағамдық талшықтардың, дәрумендердің, минералдардың, фосфотидтердің, каротиноидтің және антиоксидантты белсенділігі бар қосындылардың көзі ретінде сусамыр, семіздік, ісік ауруы және жүрек-қан тамыры ауруларының алдын алуда және емдеуде маңызы зор болып табылады. Дәстүрлі емес өсімдік шикізаттарын, антиоксиданттық белсенділікке, қабынуға қарсы және канцерогенге қарсы әсерге ықпал ететін күкірт молекулалары, таниндер, алкалоидтар, дәрумендер, флавоноидтар және полифенолдар

секілді биологиялық белсенді қосылыстарының арқасында, тағамдардың функционалдық құндылығын арттыру үшін пайдалануға болады [9-12].

### **Зерттеу әдістері**

Зерттеу нысаны ретінде отандық және шетелдік ақпарат көздерінің ғылыми деректері және тағам өнімдерін өндіру барысындағы өсімдік шикізатын экструдаттау процессі қабылданды.

Шетел және отандық зерттеушілердің ғылыми мақалалары, кілтті сөздер арқылы, «Google Scholar» және «Scopus» библиографиялық базаларында іздестірілді. Басылымдар ағылшын және орыс тілдеріндегі келесі кілт сөздер және олардан құралған сөз тіркестері арқылы іздестірілді: extrusion (экструзия), extrudate (экструдат), vegetable raw materials (өсімдік шикізаты), snacks (снектер), breakfast cereals (құрғақ таңғы ас). Зерттеу үшін уақыт шектеуі ретінде 2015-2024 жылдар аралығы алынды.

### **Нәтижелер**

Қазіргі уақытта экструзиялау әдісімен ісінген тіскебасарлардан бастап, жоғары дәрежеде өңделген ет аналогтарына дейін өндірілуде. Экструзия әдісімен өндірілетін ең танымал өнімдерге: тікелей экструдаттау өнімдері, тұтынуға дайын астық үлпектері, тіскебасар түйіршіктер, балалар тағамдары, үй жануарларына арналған қоректер, текстуралы өсімдік ақуыздары, хлебцы, кондитер өнімдері және т.б. жатқызуға болады.

Дүние-жүзілік азық-түлік өнеркәсібінде экструзиялық өңдеу әдісінің артуы көптеген отандық өндірушілерге жергілікті өсімдік шикізатын, соның ішінде жабайы өсімдік шикізатын өндірісте қолдануға итермелеуде [13-15]. Шикізатты экструзиялық өңдеу бұрын соңды экономикалық маңызға ие болмаған немесе қалдық деп танылған шикізатты да қолдануға мүмкіндік тудырады [16, 17].

Соңғы жылдары салауатты өмір салтына өтіп жатқан адамдардың саны артуда, ал оның негізгі көрсеткіші – теңдестірілген тамақтану. Өндірісте қолданылатын шикізаттардың химиялық құрамы, биохимиялық және функционалды-технологиялық қасиеттері дайын өнімнің тағамдық және энергетикалық құндылығына әсерін тигізетіндігі анық. Дайын өнімнің энергия сыйымдылығын төмендету үшін энергетикалық құндылығы төмен және функционалды тағамдық құрамдардың (тағамдық талшықтар, дәрумендер, минералды заттар, полиқанқыпаған май қышқылдары және бос органикалық қышқылдар) көзі болатын жеміс-көкөніс шикізаттары көптеп қолданылуда. Бұл ретте жергілікті жабайы шикізат ресурстарын пайдалану маңызды болып табылады [18-23]. Осы сұрақтар бойынша отандық және шетелдік көптеген ғалымдар зерттеу жұмыстарын жүргізуде.

#### *Жеміс-жидекпен байытылған экструдерленген тамақ өнімдері.*

Отандық ғалымдар Оспанов А.А., Тимурбекова А.К. және Алмаганбетова А.Т. [24] өсімдік және жануар текті шикізат негізінде функционалды салмалары бар көп дәнді коэкструдерленген тағам өнімдерінің ассортиментін арттыруда жұмыстар жүргізген. Алынған нәтижелер бойынша «Фитнес» және «Здоровье» өнімдерінің энергетикалық құндылығының экструдер шнегінің айналу жиелігінің айнымалы шамасы мен экструдерленетін көп дәнді қоспасының ылғалдылығына тәуелділік графиктерін құрастырған. Зерттеу нәтижелері жеміс-жидекті және ет-сүтті салма қосылған дайын құрғақ ас өндірудегі тағамдық концентраттар саласында келешегі мол деп қорытындылады.

Kita A., Nowak J., Michalska-Ciechanowska A. топинамбурдан жасалған снектерге жеміс ұнтақтарын қосудың дайын өнімнің сапасына әсерін зерттеді [25, 26]. Зерттеудің мақсаты топинамбур ұнына мүкжидек, қара жемісті шетен немесе қарақаттан алынған ұнтақ қосылған жаңа снек түйіршіктерінің физикалық, химиялық және органолептикалық қасиеттерін зерттеу. Снек өнімдеріне жеміс ұнтақтарын қосу полифенол қосылыстарының артуына және алынған өнімдердің антиоксиданттық қабілетінің жақсаруына алып келді. Сонымен қатар, жеміс ұнтақтарын қосу дайын өнімнің түсін бақылаумен салыстырғанда тартымды, ал құрылымын қаттырақ етті. Авторлар снек өнімдерінің рецептурасына жеміс ұнтақтарын қосу функционалды өнімдердің ассортиментін кеңейтудің перспективті тәсілі болып табылатынын қорытындылады. Ал, Сербия және Ұлыбритания ғалымдары Radovanovic A., Stojceska V. [27]. және т.б. гликемиялық индексі төмен экструдталған тағамдарды әзірлеу кезінде функционалдық қоректік зат ретінде құрғақ топинамбур ұнтағын пайдалану бойынша зерттеу жұмыстарын жүргізген. Клиникалық зерттеулер 21-56 жас арасындағы денсаулығы жақсы он ерікті адамдарға жүргізілді. Зерттеу нәтижесі топинамбур ұнтағы инулиннің деңгейін көтеріп,



ақуыздың, майдың және көмірсудың деңгейін бір мезгілде төмендеткенін көрсетті. 80% топинамбур ұнтағы бар үлгі төмен гликемиялық индексті деп есептелсе, 30% және 60% ұнтақ қосылған үлгілер орташа гликемиялық тағам ретінде сипатталды. Шолу жасалған зерттеулердің нәтижесі бойынша, топинамбур және жидектер ұнтақтарын экструзиялық өнімдер рецептурасына қосу, функционалды өнімдер өндірудегі перспективалық бағыт деп айтуға болатыны дәлелденді.

Поляк ғалымдары Kręcisz M., Wojtowicz A. және Oniszczyk A. қосымша жемістермен байытылған экструзияланған тез дайындалатын жүгері ботқасының жеке көрсеткіштеріне рецептура құрамы мен өңдеу жағдайларының әсерін зерттеу нәтижелері аталған салының басты ғылыми нәтижелері ретінде қарастырды. Басты шикізат ретінде жүгері жармасы және қосымша табиғи қоспа ретінде 1, 2, 3, 4 және 5% мөлшерінде кептіріліп ұнтақталған мүжидек пен годжи жидектері алынды. Өңдеу кезінде шнектің айналу жылдамдығын әр түрлі ала отырып, экструзиялық қайнату 125-135°C жүргізілді. Зерттеу нәтижесі тез дайындалатын жүгері ботқасының көптеген сипаттамаларына құрғақ жемістер мен шнектің айналу жылдамдығының әсер еткендігін көрсетті. Дайын өнімнің су сіңіру қабілетінің ең жоғарғы көрсеткіші жоғары жылдамдықтағы шнектің айналуы мен годжи жидектерінің ең көп мөлшері қосылған үлгі деп танылса, мүжидек қосылған үлгілерде су сіңіру қабілеті айтарлықтай өзгермегендігі анықталды [28]. Қазіргі уақытта тағамдық өнімдердің функционалдық қасиеттерін арттыру мақсатында годжи жидектерін көптеп қолданылып жүргені белгілі. Экструдерленген өнімдердің тағамдық құндылығына және физикалық қасиеттеріне годжи жидектерінің оң әсері бірнеше ғылыми жұмыстарда дәлелденді [29, 30, 31].

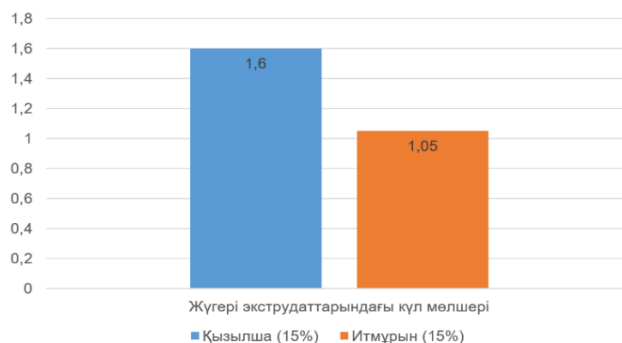
Әр түрлі кептірілген жемістер қосылған глютенсіз жүгері снектерінің сипаттамаларын Róžańska-Boczula M., Wójtowicz A., Piszcz M. және т.б. ғалымдар зерттеген. Кептірілген жемістер ретінде алма, ақ тұт жемісі, годжи жидектері, ал зерттеу объектісі ретінде жүгері негізіндегі глютенсіз чипстердің әр түрлі физикалық қасиеттеріне (кеңею индексі, көлемдік тығыздық, су сіңіру және ерігіштік, текстуралық профиль және түс балансы) өндірістік шнектің түрі мен айналу жылдамдығы (80, 100 және 120 айн/мин) және құрғақ жемістердің мөлшерінің (0-20%) әсерін бағалау алынды [32]. Авторлар зерттеу қорытындысы бойынша рецептураға сыналған жемістер 10%-ға дейін қосылса, онда табиғи түске ие, кеңеюі мен құрылымы барынша жақсы сапалы экструдерленген снек өнімдерін алуға болатындығын дәлелдеген.

Шариков А.Ю., Соколова Е.Н. сынды Ресей ғалымдары [33] рецептурада итбүлдіргенді қолдану, жидектердің құрамындағы тағамдық талшықтардың, фенолдық қосылыстардың және тағы да басқа биологиялық активті заттардың жоғарғы көрсеткіші негізінен, тұтынуға дайын экструдатталған өнімдердің тағамдық құндылығын арттыру негізінде зерттеу жұмыстарын жүргізді. Итбүлдірген күріш жармасы негізіндегі экструдатталған қоспаға 15% дейін енгізілді және қоспалар 150-165°C температура диапазонында екі бұрандалы экструдерде өңделді. Қайта өңделетін қоспаның құрамындағы жидектер үлесінің өсуімен процесстің негізгі технологиялық көрсеткіштері төмендейтіні анықталды: температура, ығысу деформациясының моменті және орнату камерасындағы қысым, бұл экструдер камерасындағы жалпы ылғалдың жоғарылауымен байланысты. Ғалымдар фенолдық қосылыстардың жоғалуын және алынған экструдаттардың құрылымдық-механикалық қасиеттерінің өзгеруін ескере отырып, экструдатталған қоспаларға итбүлдірген жидектерінің 5%-дан астамын енгізу мүмкін емес деген қорытындыға келді. Экструдатталған өнімдер өндірісі саласында жеміс-жидек сығындыларының, ұнтақтарының және қалдықтарының снектердің тағамдық құндылығына оң әсерін әлемдік көптеген ғалымдар дәлелдегендігі осы сала бойынша басты жетістіктер деп келтіруге болады [34-38]. Бұл шикізаттар функционалдылығымен және бай химиялық қосылыстар құрамымен ерекшеленетіні белгілі. Барлық зерттеу нәтижелері бойынша ғалымдар, қара жемісті шетенді, мүжидекті снек өнімдерінің құрамына қосу, дайын өнімді фенолды қосылыстармен, тағамдық талшықтармен, антиоксидантты қосылыстармен байытылғанын дәлелдеді.

*Дәстүрлі емес өсімдік шикізаттарымен байытылған экструдерленген тамақ өнімдері.*

Адам денсаулығына пайдалы ингредиенттермен байытылған жүгері экструдаттарын зерттеу бойынша Culetu A., Susman I.E. және бірлескен авторлар айналысқан. Зерттеу барысында жүгері ұнын алмастыру үшін биологиялық белсенді қосылыстарға бай бұршақ дақылдары (бұршақ 2%, брокколи 5%, және 5% жоңышқа (люцерна), өсімдіктер (15% қызылша, 15% итмұрын) және дәмдуіштер (2% чили, 2% куркума, 2% паприка және 2% райхан)

қосылған 9 үлгі дайындалып, бақылау үлгісімен салыстырылды [39]. Зерттеу нәтижесі бойынша авторлар дәмдеуіштер қосылған үлгілерде ақуыздың мөлшері айтарлықтай өзгермегендігін, ал майдың концентрациясы бойынша айтарлықтай ерекшелік бұршақ, брокколи және итмұрын қосылған үлгілерде байқалғаны анықталды. Дайын өнімдердегі күлдің мөлшері жүгері ұны ауыстырылған көлемге байланысты өзгергендігі байқалды. Сәйкесінше 15% қызылша мен итмұрын қосылған үлгілерде күлдің жоғарғы мөлшері ( $1,60 \pm 0,02\%$  және  $1,05 \pm 0,01\%$ ) байқалды. 1-суретте әртүрлі ингредиенттері бар жүгері экструдаттарындағы күлдің мөлшерін көрсетеді.



Сурет 1 – Қызылша және итмұрын қосылған жүгері экструдаттарындағы күлдің мөлшері

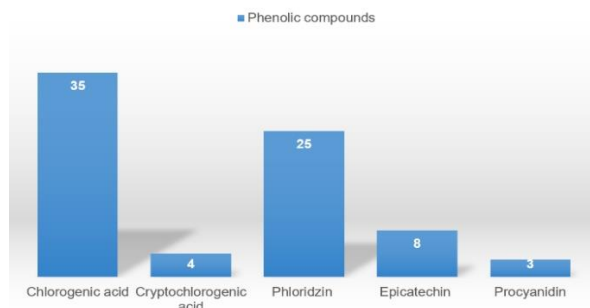
Қорытындылай келе осы және басқа да әлемдік ғалымдар авторлар [40-43], экструдатталған өнімдердің тұтынушылық және тағамдық құндылығын жақсарту мақсатында табиғи әр түрлі ингредиенттерді қосуға болады деген тұжырымдама келді.

Испандық ғалымдар Igual M., Lopez Baldo J.V., García-Segovia P. және Martínez-Monzó J. [44] қосүйлі қалақайдың экструдерленген жүгері снектерінің құрамындағы фенолға, антиоксидантты қабілеттеріне, түсіне, құрылымы мен экструзиялау параметріне деген әсерін зерттеді. Зерттеу нәтижесі қосүйлі қалақай ұнтағын рецептураға қосу дайын өнім құрамындағы фенолдар мен антиоксиданттық қабілетінің өскенін көрсетті. Қоспадағы қосүйлі қалақай ұнтағының жоғары концентрациясы экструдаттардың кеуектілігінің төмендеуіне алып келді, дегенмен бұл молекулалық зақымданудың баяулауына және оның тұрақтылығына оң әсерін тигізді. Ғалымдар экструдаттың типтік сипаттамалары сақталып қалуы үшін қоспадағы қосүйлі қалақай ұнтағының құрамын 7,5% болуын ұсынатынымен қорытындылады. Қосүйлі қалақай ұнтағының басқа да тағамдық өнімдердің рецептурасына енгізу дайын өнімнің құрамындағы биологиялық белсенді заттардың, минералды заттар мен дәрумендердің артуына, сонымен қатар сақталу мерзімінің ұзаруына септігін тигізгендігі анықталды [45, 46, 47].

Kasprzak K. бірлескен авторлармен кале орамжапырағымен байытылған жүгері снектерінің антиоксидантты қабілеті мен фенол қышқылы құрамын зерттеді. Зерттеу жүргізу барысында ылғалдылығы 15% болатындай қоспаны жүгері жармасының 2, 4, 6 және 8%-ын ұнтақталған орамжапырақ ұнымен алмастырып дайындады. Қорытынды бойынша, кале орамжапырағын 4%-дан көп мөлшерде қосу барысында өнімде оннан астам фенол қышқылдары бар және денсаулыққа пайдалы табиғи антиоксиданттың көз болып табылатын жүгері снектерін алуға болатынын көрсетті. Авторлар бұл өнімдерді жүрек-қан тамырлары және 2 типті сусамыр сынды аурулардың қаупін төмендетуі мүмкін деген ұсыныстарын келтірді [48].

Gumul D., Ziobro R. және бірлескен поляк ғалымдары [49] жеміс қалдықтарының жүгері снектерін өндіруде пайдалы компоненттердің көзі ретіндегі маңызын зерттеді. Бұл өнімді шығару барысында ғалымдар алма қалдықтарын 20%-ға дейін қосуды оптималды деп таныды.

2 суретте 20% алма қалдықтары қосылған жүгері снектерінің фенолдық қосылыстардың көбеюі көрсетілген: хлороген – 36 есе, криптохлороген – 4 есе артуына, UPLC-PDA-MS/MS әдісі жүгері тағамдарында флорзиннің (25 есе), эпикатехиннің (8 есе) соңғы процианидиннің (шамамен 3 есе) айтарлықтай жоғарылауын байқауға мүмкіндік берді. Қорытындылай келе, ғалымдар алма қалдықтарын 20%-ға дейін қосу дайын өнімнің органолептикалық қасиеттерін өзгертпейтінін және осының негізінде диеталық талшықтар мен өнімнің антиоксиданттық қасиеттерінің артуына әкелгендігін ескере отырып, өнеркәсіптік ауқымда өндіруге кеңес беруге болатынын айтты.



Сурет 2 – Алма қалдықтарының 20% қосылғандағы жүгері снектерінің фенолдық қосылыстарының өзгеруі

Инкапсуляцияланған қызыл кактус алмұрт ұнтағы тамақ өнеркәсібі үшін әлеуетті маңызы бар табиғи боғыш және белгілі антиоксидант болып саналады. Мексика ғалымдары Martha G. Ruiz-Gutiérrez, Carlos A. Amaya-Guerra және бірлескен авторлар экструдатталған дәнді дақылдардың физико-химиялық қасиеттеріне жоғарыда аталған өнімнің әсерін зерттеді. Зерттеу негізінде инкапсуляцияланған қызыл кактус алмұрт ұнтағын 2,5, 5,0 және 7,5% мөлшерінде жүгері жармасымен араластырып, қоспаның ылғалдылығы 22%, температурасы 100°C және шнектің айналу жылдамдығы 325 айн/мин көрсеткіштерінде экструдаттады. Экструдатталған үлпектердің физикалық, химиялық және органолептикалық сипаттамалары бағаланды; инкапсуляцияланған ұнтақсыз экструдатталған үлпектер бақылау ретінде қабылданды. Инкапсуляцияланған ұнтақпен боялған барлық астық экструдаттары бақылаумен салыстырғанда кеңеюде, суды сіңіруде, түсінде, тығыздығында және құрылымында статистикалық маңызды айырмашылықтарды көрсетті. Инкапсуляцияланған ұнтақ көбіктену және суды сіңіру көрсеткіштеріне, сондай-ақ түс параметрлеріне оң әсер етті, бірақ тығыздық пен құрылымға теріс әсерін тигізді. Оптималды үлгі ретінде ғалымдар пигменті жоқ экструдатталған өнімдерге жақын сипатқа ие болған 2,5% ұнтақ қосылған үлгені таңдады [50].

### Нәтижелерді талқылау

Әдеби дереккөздерді талдау нәтижелері бойынша экструзия процесі тамақ өндірісінде өсімдік шикізатын өңдеудің негізгі әдісі деп айтуға болады. Бұл процесс ағзаға өсімдік шикізатының көптеген компоненттерін, атап айтқанда ақуыздар мен крахмалдарды сіңіруге және анти-қоректік заттардың мөлшерін төмендетуге көмектеседі. Экструзия процесінің нәтижелері бойынша бұранданың айналу жылдамдығына байланысты дайын өнімнің энергетикалық құндылығы артады, антиоксиданттық қасиеттері, органолептикалық қасиеттері жақсарады. Сонымен қатар, әдеби дереккөздерді талдау экструзия процесі дайын өнімнің құрылымын жақсартуға әкелетінін көрсетті.

### Қорытынды

Экструзия технологиясы басқа өңдеу әдістеріне қарағанда көптеген артықшылықтарымен ерекшелінетіндіктен тамақ өнеркәсібіне біршама өзгерістер енгізді. Бұл технологияны негізгі немесе қосалқы рецептура құрамы мен өңдеу жағдайларын өзгерту арқылы әртүрлі тағамдық топтардың әртүрлі өнімдерін өңдеуге ұсынады.

Зерттеу тақырыбына арналған ғылыми мақалаларды талдау негізінде экструзия жабайы өсімдік шикізатын тағамға өңдеудің ең тиімді әдістерінің бірі деп қорытынды жасауға болады. Жабайы өсімдік шикізаты адам денсаулығына қажетті дәрумендерге, көмірсуларға, ақуыздар және майларға бай, сонымен қатар құрамында органикалық қышқылдар мен антиоксиданттар бар. Дегенмен, ол шикізаттарды қазіргі таңда тек функционалды мақсатта аз мөлшерде ғана қолдануда. Отандық және шетелдік ғылыми мақалаларды талдау жабайы өсімдік шикізатын азық-түліктік мақсатта пайдалану тамақтану саласындағы жаңа және перспективалы бағыт екендігін растайды.

### Әдебиеттер тізімі

1. Recent development, challenges, and prospects of extrusion technology / K. Prabha et al // *Future Foods*. – 2021. – Vol. 3. – P. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100019>.
2. Offiah V., Kontogiorgos V., Falade K.O. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review / V. Offiah, V. Kontogiorgos, K.O. Falade // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2019. – Vol. 59. – P. 2979-2998. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>.

3. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview / W. Leonard et al // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2019. – Vol. 19, Issue 1. – P. 218-246. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12514>.
4. Effect of extrusion process conditions on extrudates enriched with carotenoids encapsulated by different methods using gum arabic and vegetable fat as carriers / L.S. Pinho et al // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2024. – Vol. 267, Part 2. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131200>.
5. Bioactive peptides by in vitro digestion of germinated bean cotyledons extrudates / L. Lopez-Barrios et al // *Journal of Food Research*. – 2018. – Vol. 7. – P. 76-85. <https://doi.org/10.5539/jfr.v7n1p76>.
6. Abdullahi M.J.B. Extrusion Technology: A Tool for Value Addition to Food By-Products and Wastes. / M.J.B. Abdullahi, B.M. Yelmi, T.A. Dendegh // *Archives of Current Research International*. – 2023. – P. 39-58. <https://doi.org/10.9734/acri/2021/v21i330236>.
7. Guyony V. High moisture extrusion of vegetable proteins for making fibrous meat analogs: A review. / V. Guyony, F. Fayolle, J. Vanessa // *Food Reviews International*. – 2022. – Vol. 39. – P. 4262-4287. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2023816>.
8. Wang Q. Mohanasundaram S. Impacts of extrusion processing on food nutritional components. / Q. Wang, K. Sivakumar // *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. – 2021. – Vol. 13. – P. 364-374. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01422-2>.
9. A Review of the Changes Produced by Extrusion Cooking on the Bioactive Compounds from Vegetal Sources / S. Mironeasa et al // *Antioxidants*. – 2023. – Vol. 12. – P. 1453. <https://doi.org/10.3390/antiox12071453>.
10. Utilization of Food Processing By-products in Extrusion Processing: A Review / D. Dey et al // *Front. Sustain. Food Syst.* – 2020. – Vol. 4, P. 603-751. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.603751>.
11. Development of value-added functional food by fusion of colored potato and buckwheat flour through hot-melt extrusion / O.K. Azad et al // *Journal of Food Processing and Preservation*. – 2021. – Vol. 46, Issue 5. – P. e15312. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15312>.
12. Extrusion Technology and its Application in Food Processing - An Overview / T.A. Dendegh et al // *Tropical journal of engineering, science and technology*. – 2022. – Vol.1, № 2.
13. Гуляева А.Н. Анализ изобретений, продуктов, технологий и оборудования процесса экструзии растительного сырья / А.Н. Гуляева, В.В. Бахарев // *Вестник ВГУИТ*. – 2022. – Vol. 84, № 2, С. 39-45. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-39-45>.
14. Opportunities in valorisation of industrial food waste into extruded snack products / A. Raleng et al // *Open MenuThe Indian Journal of Agricultural Sciences*. – 2022. – Vol. 92, № 10. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i10.113487>.
15. The application of some food industry by-products in the production of extruded products / A. Jozinovic et al // *Engineering power : bulletin of the Croatian Academy of Engineering*. – 2017. – Vol. 12. – P. 2-6.
16. Development and evaluation of fiber enhanced extrudates with vegetable waste powders / N. Bhagya Lakshmi et al // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. – 2017. – Vol. 6. – P. 125-129.
17. Ваншин В.В. Пищевые субпродукты как источник сырья для производства экструдированной продукции / В.В. Ваншин, Е.А. Ваншина, А.В. Еркаев // *Известия университетов. Прикладная химия и биотехнология*. – 2017. – С. 137-144 <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-137-144>.
18. Гарькина П.К. Тенденции в снижении энергетической ценности мучных кондитерских изделий / П.К. Гарькина, О.Н. Горбачева // *Инновационная техника и технология*. – 2020. – № 2. – С. 5-10.
19. The Effect of Fresh Kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) Addition and Processing Conditions on Selected Biological, Physical, and Chemical Properties of Extruded Snack Pellets / J. Soja et al // *Molecules*. – 2023. – № 28(4). – P. 1835. <https://doi.org/10.3390/molecules28041835>.
20. Nutritional and Phytochemical Composition of Mediterranean Wild Vegetables after Culinary Treatment / P. Garcia-Herrera et al // *Foods*. – 2020. – № 9(12). – P. 1761. <https://doi.org/10.3390/foods9121761>.
21. The Renaissance of Wild Food Plants: Insights from Tuscany (Italy) / A. Baldi et al // *Foods*. – 2022. – № 11(3). – P. 300. <https://doi.org/10.3390/foods11030300>.

22. Bioactive Phenolics and Antioxidant Capacity of Some Wild Edible Greens as Affected by Different Cooking Treatments / L. Sergio et al // *Foods*. – 2020. – № 9(9). – P. 1320. <https://doi.org/10.3390/foods9091320>.
23. Ashraf M.Y. Underutilized Vegetables: A Tool to Address Nutritional Issues, Poverty Reduction and Food Security / M.Y. Ashraf, M. Ashraf, M. Ozturk // *Global Perspectives on Underutilized Crops*. – 2018. – P. 1-23. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77776-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77776-4_1).
24. Оспанов А.А. Коэкструдерленген тамақ өнімдерін дайындау әдісін ғылыми негіздеу / А.А. Оспанов, А.К. Тимурбекова, А.Т. Алмаганбетова // *Алматы технологиялық университетінің хабаршысы*. – 2020. – № 4. – 47-53 бет. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2020-4-47-53>.
25. Kita A. The Effect of the Addition of Fruit Powders on the Quality of Snacks with Jerusalem Artichoke during Storage. / A. Kita, J. Nowak, A. Michalska-Ciechanowska // *Appl. Sci.* – 2020. – № 10. – P. 5603. <https://doi.org/10.3390/app10165603>.
26. Amino Acid Improving and Physical Qualities of Extruded Corn Snacks Using Flours Made from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*), Amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) and Pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) / A. Peksa et al // *Journal of Food Quality*. – 2016. – Vol. 39. – P. 580-589. <https://doi.org/10.1111/jfq.12242>.
27. The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index / A. Radovanovic et al // *Food Chemistry*. – 2015. – Vol. 177. – P. 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.096>.
28. Kręcis M. Effect of composition and processing conditions on selected characteristics of extruded corn instant gruels enriched with fruits addition / M. Kręcis, A. Wójtowicz, A. Oniszcuk // *BIO Web Conf.* – 2018. – Vol. 10. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181002013>.
29. Physical and Functional Characteristics of Extrudates Prepared from Quinoa Enriched with Goji Berry / M. Dushkova et al // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13(6). – P. 3503. <https://doi.org/10.3390/app13063503>.
30. Health Benefits and Applications of Goji Berries in Functional Food Products Development: A Review / B.B. Vidovic et al // *Antioxidants*. – 2022. – № 11(2). – P. 248. <https://doi.org/10.3390/antiox11020248>.
31. Stability of goji bioactives during extrusion cooking process / A. Kosinka-Cagnazzo et al // *Food Chemistry*. – 2017. – Vol. 230. – P. 250-256. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.035>.
32. Corn-Based Gluten-Free Snacks Supplemented with Various Dried Fruits: Characteristics of Physical Properties and Effect of Variables / M. Różańska-Boczula et al // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13. – P. 10678. <https://doi.org/10.3390/app131910678>.
33. Использование брусники в экструдированных продуктах, готовых к употреблению / А.Ю. Шариков и др. // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2022. – № 4. – С. 191-200. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.379>.
34. Extrusion Processing of Pure Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) Pomace: Impact on Dietary Fiber Profile and Bioactive Compounds / V. Schmid et al // *Foods*. – 2021. – № 10(3). – P. 518. <https://doi.org/10.3390/foods10030518>.
35. Fresh Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) Fruits as Valuable Additive in Extruded Snack Pellets: Selected Nutritional and Physicochemical Properties / A. Wójtowicz et al // *Plants*. – 2023. – № 12(18). – P. 3276. <https://doi.org/10.3390/plants12183276>.
36. Gumul D. The Influence of Fruit Pomaces on Nutritional, Pro-Health Value and Quality of Extruded Gluten-Free Snacks / D. Gumul, W. Berski, T. Zieba // *Applied Sciences*. – 2023. – № 13(8). – P. 4818. <https://doi.org/10.3390/app13084818>.
37. Krecisz M. Radical scavenging activity of instant gruels enriched with cranberry fruits determined by thin-layer chromatography – DPPH test and by spectrophotometric method / M. Krecisz, M. Waksmundzka-Hajnos, A. Oniszcuk // *Journal of Planar Chromatography – Modern TLC*. – 2017. – Vol. 30. – P. 418-422. <https://doi.org/10.1556/1006.2017.30.5.12>.
38. Use of blackcurrant and chokeberry press residue in snack products / W. Drozd et al // *Polish Journal of Chemical Technology*. – 2019. – Vol. 21. – P. 13-19. <https://doi.org/10.2478/pjct-2019-0003>.
39. Corn Extrudates Enriched with Health-Promoting Ingredients: Physicochemical, Nutritional, and Functional Characteristics / A. Culetu et al // *Processes*. – 2023. – № 11(4). – P. 1108. <https://doi.org/10.3390/pr11041108>.
40. A new trend among plant-based food ingredients in food processing technology / E. Erem et al // *Aquafaba*. – 2021. – № 63(20). – P. 4467-4484. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2002259>.

41. Analysis of the content of bioactive compounds in selected flours and enriched extruded corn products / J. Kolniak-Ostek et al // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2017. – Vol. 64. – P. 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.08.008>.
42. Sarka E. Changes in Phenolics during Cooking Extrusion: A Review / E. Sarka, M. Slukova, S. Henke // *Foods*. – 2021. – № 10(9). – P. 2100. <https://doi.org/10.3390/foods10092100>.
43. Sustainable production of naturally colored extruded breakfast cereals from blends of broken rice and vegetable flours / V.G. Sebastiao et al // *Food Research International*. – 2023. – Vol. 172. – P. 11078. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113078>.
44. Impact of *Urtica dioica* on phenols, antioxidant capacity, color, texture and extrusion parameters of extruded corn products / M. Igual et al // *British Food Journal*. – 2023. – Vol. 125, № 2. – P. 696-712. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2022-0147>.
45. Nettle (*Urtica dioica* L.) as a functional bioactive food ingredient: Applications in food products and edible films, characterization, and encapsulation systems / M. Mohammadian et al // *Trends in Food Science & Technology*. – 2024. – Vol. 147. – P. 104421. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104421>.
46. Stinging nettle (*Urtica dioica* L.) as a functional food additive in egg pasta: Enrichment and bioaccessibility of Lutein and  $\beta$ -carotene / N. Marchetti et al // *Journal of Functional Foods*. – 2018. – Vol. 47. – P. 547-553. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.05.062>.
47. Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.) as a Functional Component in Durum Wheat Pasta Production: Impact on Chemical Composition, In Vitro Glycemic Index, and Quality Properties / A. Krawecka et al // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26, № 26(22). – P. 6909. <https://doi.org/10.3390/molecules26226909>.
48. Phenolic Acid Content and Antioxidant Properties of Extruded Corn Snacks Enriched with Kale / K. Kasprzak et al // *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. – 2018. – Vol. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7830546>.
49. Fruit Waste as a Matrix of Health-Promoting Compounds in the Production of Corn Snacks / D. Gumul et al // *International Journal of Food Science*. – 2022. – P. 11. <https://doi.org/10.1155/2022/7341118>.
50. Use of Red Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica*) Encapsulated Powder to Pigment Extruded Cereal / M.G. Ruiz-Gutiérrez et al // *Journal of Food Quality*. – 2017. – 12 p. <https://doi.org/10.1155/2017/7262464>.

### References

1. Recent development, challenges, and prospects of extrusion technology / K. Prabha et al // *Future Foods*. – 2021. – Vol. 3. – R. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100019>. (In English).
2. Offiah V., Kontogiorgos V., Falade K.O. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review / V. Offiah, V. Kontogiorgos, K.O. Falade // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2019. – Vol. 59. – R. 2979-2998. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>. (In English).
3. Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview / W. Leonard et al // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2019. – Vol. 19, Issue 1. – R. 218-246. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12514>. (In English).
4. Effect of extrusion process conditions on extrudates enriched with carotenoids encapsulated by different methods using gum arabic and vegetable fat as carriers / L.S. Pinho et al // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2024. – Vol. 267, Part 2. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131200>. (In English).
5. Bioactive peptides by in vitro digestion of germinated bean cotyledons extrudates / L. Lopez-Barrios et al // *Journal of Food Research*. – 2018. – Vol. 7. – R. 76-85. <https://doi.org/10.5539/jfr.v7n1p76>. (In English).
6. Abdullahi M.J.B. Extrusion Technology: A Tool for Value Addition to Food By-Products and Wastes. / M.J.B. Abdullahi, B.M. Yelmi, T.A. Dendegh // *Archives of Current Research International*. – 2023. – R. 39-58. <https://doi.org/10.9734/acri/2021/v21i330236>. (In English).
7. Guyony V. High moisture extrusion of vegetable proteins for making fibrous meat analogs: A review. / V. Guyony, F. Fayolle, J. Vanessa // *Food Reviews International*. – 2022. – Vol. 39. – R. 4262-4287. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2023816>. (In English).
8. Wang Q. Mohanasundaram S. Impacts of extrusion processing on food nutritional components. / Q. Wang, K. Sivakumar // *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. – 2021. – Vol. 13. – R. 364-374. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01422-2>. (In English).

9. A Review of the Changes Produced by Extrusion Cooking on the Bioactive Compounds from Vegetal Sources / S. Mironeasa et al // *Antioxidants*. – 2023. – Vol. 12. – R. 1453. <https://doi.org/10.3390/antiox12071453>. (In English).
10. Utilization of Food Processing By-products in Extrusion Processing: A Review / D. Dey et al // *Front. Sustain. Food Syst.* – 2020. – Vol. 4. – R. 603-751. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.603751>. (In English).
11. Development of value-added functional food by fusion of colored potato and buckwheat flour through hot-melt extrusion / O.K. Azad et al // *Journal of Food Processing and Preservation*. – 2021. – Vol. 46, Issue 5. – R. e15312. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15312>. (In English).
12. Extrusion Technology and its Application in Food Processing – An Overview / T.A. Dendegh et al // *Tropical journal of engineering, science and technology*. – 2022. – Vol.1, № 2. (In English).
13. Gulyaeva A.N. Analiz izobretenii, produktov, tekhnologii i oborudovaniya protsessa ehkstruzii rastitel'nogo syr'ya / A.N. Gulyaeva, V.V. Bakharev // *Vestnik VGUI*. – 2022. – Vol. 84, № 2. – S. 39-45. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-2-39-45>. (In Russian).
14. Opportunities in valorisation of industrial food waste into extruded snack products / A. Raleng et al // *Open MenuThe Indian Journal of Agricultural Sciences*. – 2022. – Vol. 92, № 10. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i10.113487>. (In English).
15. The application of some food industry by-products in the production of extruded products / A. Jozinovic et al // *Engineering power : bulletin of the Croatian Academy of Engineering*. – 2017. – Vol. 12. – R. 2-6. (In English).
16. Development and evaluation of fiber enhanced extrudates with vegetable waste powders / N. Bhagya Lakshmi et al // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. – 2017. – Vol. 6. – R. 125-129. (In English).
17. Vanshin V.V. Pishchevye subprodukty kak istochnik syr'ya dlya proizvodstva ehkstrudirovannoi produktsii / V.V. Vanshin, E.A. Vanshina, A.V. Erkaev // *Izvestiya universitetov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*. – 2017. – S. 137-144 <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-137-144>. (In Russian).
18. Gar'kina P.K. Tendentsii v snizhenii ehnergeticheskoi tsennosti muchnykh konditerskikh izdelii / P.K. Gar'kina, O.N. Gorbacheva // *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya*. – 2020. – № 2. – S. 5-10. (In Russian).
19. The Effect of Fresh Kale (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) Addition and Processing Conditions on Selected Biological, Physical, and Chemical Properties of Extruded Snack Pellets / J. Soja et al // *Molecules*. – 2023. – № 28(4). – R. 1835. <https://doi.org/10.3390/molecules28041835>. (In English).
20. Nutritional and Phytochemical Composition of Mediterranean Wild Vegetables after Culinary Treatment / P. Garcia-Herrera et al // *Foods*. – 2020. – № 9(12). – R. 1761. <https://doi.org/10.3390/foods9121761>. (In English).
21. The Renaissance of Wild Food Plants: Insights from Tuscany (Italy) / A. Baldi et al // *Foods*. – 2022. – № 11(3). – R. 300. <https://doi.org/10.3390/foods11030300>. (In English).
22. Bioactive Phenolics and Antioxidant Capacity of Some Wild Edible Greens as Affected by Different Cooking Treatments / L. Sergio et al // *Foods*. – 2020. – № 9(9). – R. 1320. <https://doi.org/10.3390/foods9091320>. (In English).
23. Ashraf M.Y. Underutilized Vegetables: A Tool to Address Nutritional Issues, Poverty Reduction and Food Security / M.Y. Ashraf, M. Ashraf, M. Ozturk // *Global Perspectives on Underutilized Crops*. – 2018. – R. 1-23. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77776-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77776-4_1). (In English).
24. Ospanov A.A. Koehkstruderlengen tamak onimderin daiyndau adisin gylymi negizdeu / A.A. Ospanov, A.K. Timurbekova, A.T. Almaganbetova // *Almaty tekhnologiyalyk universitetinin khabarshysy*. – 2020. – № 4. – 47-53 bet. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2020-4-47-53>. (In Kazakh).
25. Kita A. The Effect of the Addition of Fruit Powders on the Quality of Snacks with Jerusalem Artichoke during Storage. / A. Kita, J. Nowak, A. Michalska-Ciechanowska // *Appl. Sci.* – 2020. – № 10. – R. 5603. <https://doi.org/10.3390/app10165603>. (In English).
26. Amino Acid Improving and Physical Qualities of Extruded Corn Snacks Using Flours Made from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*), Amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) and Pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) / A. Peksa et al // *Journal of Food Quality*. – 2016. – Vol. 39. – R. 580-589. <https://doi.org/10.1111/jfq.12242>. (In English).

27. The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index / A. Radovanovic et al // *Food Chemistry*. – 2015. – Vol. 177. – R. 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.096>. (In English).
28. Kręcis M. Effect of composition and processing conditions on selected characteristics of extruded corn instant gruels enriched with fruits addition / M. Kręcis, A. Wójtowicz, A. Oniszcuk // *BIO Web Conf.* – 2018. – Vol. 10. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181002013>. (In English).
29. Physical and Functional Characteristics of Extrudates Prepared from Quinoa Enriched with Goji Berry / M. Dushkova et al // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13(6). – R. 3503. <https://doi.org/10.3390/app13063503>. (In English).
30. Health Benefits and Applications of Goji Berries in Functional Food Products Development: A Review / B.B. Vidovic et al // *Antioxidants*. – 2022. – № 11(2). – R. 248. <https://doi.org/10.3390/antiox11020248>. (In English).
31. Stability of goji bioactives during extrusion cooking process / A. Kosinka-Cagnazzo et al // *Food Chemistry*. – 2017. – Vol. 230. – R. 250-256. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.035>. (In English).
32. Corn-Based Gluten-Free Snacks Supplemented with Various Dried Fruits: Characteristics of Physical Properties and Effect of Variables / M. Różańska-Boczula et al // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13. – R. 10678. <https://doi.org/10.3390/app131910678>. (In English).
33. Ispol'zovanie brusniki v ehkstrudirovannykh produktakh, gotovykh k upotrebleniyu / A.YU. Sharikov i dr. // *Khranenie i pererabotka selkhozsyrya*. – 2022. – № 4. – S. 191-200. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.379>. (In Russian).
34. Extrusion Processing of Pure Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) Pomace: Impact on Dietary Fiber Profile and Bioactive Compounds / V. Schmid et al // *Foods*. – 2021. – № 10(3). – R. 518. <https://doi.org/10.3390/foods10030518>. (In English).
35. Fresh Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) Fruits as Valuable Additive in Extruded Snack Pellets: Selected Nutritional and Physicochemical Properties / A. Wójtowicz et al // *Plants*. – 2023. – № 12(18). – R. 3276. <https://doi.org/10.3390/plants12183276>. (In English).
36. Gumul D. The Influence of Fruit Pomaces on Nutritional, Pro-Health Value and Quality of Extruded Gluten-Free Snacks / D. Gumul, W. Berski, T. Zieba // *Applied Sciences*. – 2023. – № 13(8). – R. 4818. <https://doi.org/10.3390/app13084818>. (In English).
37. Krecisz M. Radical scavenging activity of instant gruels enriched with cranberry fruits determined by thin-layer chromatography – DPPH test and by spectrophotometric method / M. Krecisz, M. Waksmundzka-Hajnos, A. Oniszcuk // *Journal of Planar Chromatography – Modern TLC*. – 2017. – Vol. 30. – R. 418-422. <https://doi.org/10.1556/1006.2017.30.5.12>. (In English).
38. Use of blackcurrant and chokeberry press residue in snack products / W. Drozd et al // *Polish Journal of Chemical Technology*. – 2019. – Vol. 21. – R. 13-19. <https://doi.org/10.2478/pjct-2019-0003>. (In English).
39. Corn Extrudates Enriched with Health-Promoting Ingredients: Physicochemical, Nutritional, and Functional Characteristics / A. Culetu et al // *Processes*. – 2023. – № 11(4). – R. 1108. <https://doi.org/10.3390/pr11041108>. (In English).
40. A new trend among plant-based food ingredients in food processing technology / E. Erem et al // *Aquafaba*. – 2021. – № 63(20). – R. 4467-4484. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.2002259>. (In English).
41. Analysis of the content of bioactive compounds in selected flours and enriched extruded corn products / J. Kolniak-Ostek et al // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2017. – Vol. 64. – R. 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.08.008>. (In English).
42. Sarka E. Changes in Phenolics during Cooking Extrusion: A Review / E. Sarka, M. Slukova, S. Henke // *Foods*. – 2021. – № 10(9). – R. 2100. <https://doi.org/10.3390/foods10092100>. (In English).
43. Sustainable production of naturally colored extruded breakfast cereals from blends of broken rice and vegetable flours / V.G. Sebastiao et al // *Food Research International*. – 2023. – Vol. 172. – R. 11078. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113078>. (In English).
44. Impact of *Urtica dioica* on phenols, antioxidant capacity, color, texture and extrusion parameters of extruded corn products / M. Igual et al // *British Food Journal*. – 2023. – Vol. 125, № 2. – R. 696-712. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2022-0147>. (In English).
45. Nettle (*Urtica dioica* L.) as a functional bioactive food ingredient: Applications in food products and edible films, characterization, and encapsulation systems / M. Mohammadian et al // *Trends in*



Food Science & Technology. – 2024. – Vol. 147. – R. 104421. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104421>. (In English).

46. Stinging nettle (*Urtica dioica* L.) as a functional food additive in egg pasta: Enrichment and bioaccessibility of Lutein and  $\beta$ -carotene / N. Marchetti et al // Journal of Functional Foods. – 2018. – Vol. 47. – R. 547-553. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.05.062>. (In English).

47. Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.) as a Functional Component in Durum Wheat Pasta Production: Impact on Chemical Composition, In Vitro Glycemic Index, and Quality Properties / A. Krawecka et al // Molecules. – 2021. – Vol. 26, № 26(22). – R. 6909. <https://doi.org/10.3390/molecules26226909>. (In English).

48. Phenolic Acid Content and Antioxidant Properties of Extruded Corn Snacks Enriched with Kale / K. Kasprzak et al // Journal of Analytical Methods in Chemistry. – 2018. – Vol. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7830546>. (In English).

49. Fruit Waste as a Matrix of Health-Promoting Compounds in the Production of Corn Snacks / D. Gumul et al // International Journal of Food Science. – 2022. – R. 11. <https://doi.org/10.1155/2022/7341118>. (In English).

50. Use of Red Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica*) Encapsulated Powder to Pigment Extruded Cereal / M.G. Ruiz-Gutiérrez et al // Journal of Food Quality. – 2017. – 12 p. <https://doi.org/10.1155/2017/7262464>. (In English).

**Т.Б. Ахлан<sup>1\*</sup>, А.К. Изембаева<sup>1</sup>, Н. Gul<sup>2</sup>**

Алматинский технологический университет,  
050012, г. Алматы, ул. Толе би, 100

<sup>2</sup>Университет имени Сулеймана Демиреля  
32260, Турция, г. Испарта, Чюнуур

\*e-mail: togzhan.akhlan@yandex.kz

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРУЗИИ

*Экструзия – один из наиболее часто используемых термомеханических процессов, который обладает многими преимуществами: универсальностью, гибкостью, высокой производительностью, низкой стоимостью и энергоэффективностью. При разработке рецептуры ученые руководствовались целью изучения питательной ценности экструдированных продуктов, таких как изделия прямого вспенивания, завтраки и макаронные изделия, с использованием нетрадиционных ингредиентов из растительного сырья. Он не только обладает разнообразием характеристик с точки зрения химического состава и функциональных характеристик, но и влияет на качество конечной продукции при экструзионной обработке различных видов сырья. Для того чтобы использовать эти нетрадиционные растительные материалы в экструзии, важно понимать их влияние на качество сырья и экструдированных продуктов.*

*Данная статья посвящена теоретическим аспектам включения нетрадиционного растительного сырья в состав экструдированных пищевых продуктов. Изготовление продуктов из растительного сырья с помощью экструзионной обработки является экологически безопасным способом, позволяющим получать продукты с различными пищевыми свойствами и функциональными характеристиками. При анализе научных статей, посвящённых данной тематике, было установлено, что экструзия является одним из наиболее эффективных способов переработки нетрадиционного растительного сырья в пищу. В ходе исследований было установлено, что экструдирование может повысить усвояемость ингредиентов растительного сырья, а также уменьшить количество антипитательных факторов.*

**Ключевые слова:** экструзия, экструдат, растительное сырьё, снековые продукты, свойства экструдата, пищевая ценность.

**T. Akhlan<sup>1\*</sup>, A. Izembayeva<sup>1</sup>, H. Gul<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Almaty technological university,  
050012, Almaty, Tole bi Street, 100

<sup>2</sup>Suleyman Demirel University,  
32260, Turkey, Isparta, Çünür

\*e-mail: togzhan.akhlan@yandex.kz

## THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE USE OF VEGETABLE RAW MATERIALS IN THE EXTRUSION PROCESS

*Extrusion is one of the most commonly used thermomechanical processes, which has many advantages: versatility, flexibility, high productivity, low cost and energy efficiency. When developing the formulation, scientists were guided by the goal of studying the nutritional value of extruded products, such as direct foaming products, breakfasts and pasta, using non-traditional ingredients from vegetable raw materials. It not only has a variety of characteristics in terms of chemical composition and functional characteristics, but also affects the quality of final products during extrusion processing of various types of raw materials. In order to apply these non-traditional plant materials in extrusion, it is important to understand their impact on the quality of raw materials and extruded products.*

*This paper discusses the theoretical aspects of incorporating non-traditional vegetable ingredients into the composition of extruded foods. Processing vegetable materials through extrusion is a sustainable method that produces products with diverse nutritional benefits and functional properties. Through an analysis of scientific literature, we found that extrusion is an effective way to transform unconventional vegetable ingredients into edible products. Our research also revealed that extrusion increases the digestibility of these ingredients and reduces the presence of anti-nutrients.*

**Key words:** extrusion, extrudate, vegetable raw materials, snack products, extrudate properties, nutritional value.

#### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Тоғжан Бақытқызы Ахлан\*** – «Астық өнімдері және өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының докторанты, Алматы технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: togzhan.akhlan@yandex.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7883-7228>.

**Асель Камалсеитовна Изембаева** – «Астық өнімдері және өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының сениор-лекторы, PhD, Алматы технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: asel\_19.01.83@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1246-2726>.

**Hülya Gül** – «Тағам технологиялары» кафедрасының профессоры, доктор; Сулейман Демирель университеті, Түркия; e-mail: hulyagul@sdu.edu.tr. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6791-817X>.

#### **Сведения об авторах**

**Тоғжан Бақытқызы Ахлан\*** – докторант кафедрасы «Технология хлебопродуктов и перерабатывающих производств»; Алматинский технологический университет, Республика Казахстан; e-mail: togzhan.akhlan@yandex.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7883-7228>.

**Асель Камалсеитовна Изембаева** – PhD, сениор-лектор кафедрасы «Технология хлебопродуктов и перерабатывающих производств»; Алматинский технологический университет, Республика Казахстан; e-mail: asel\_19.01.83@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1246-2726>.

**Hülya Gül** – доктор, профессор кафедрасы «Пищевых технологий»; Университет Сулеймана Демиреля, Түркия; e-mail: hulyagul@sdu.edu.tr. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6791-817X>.

#### **Information about the authors**

**Togzhan Akhlan\*** – doctoral student of the Department "Technology of bread products and processing industries"; Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan; e-mail: togzhan.akhlan@yandex.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7883-7228>.

**Assel Izembayeva** – PhD, Senior lecturer of the Department «Technology of bread products and processing industries»; Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan; e-mail: asel\_19.01.83@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1246-2726>.

**Hülya Gül** – Doctor, Professor of the Department of Food Technologies; Suleiman Demirel University, Turkey; e-mail: hulyagul@sdu.edu.tr. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6791-817X>.

*Редакцияға енуі 02.04.2024  
Өңдеуден кейін түсуі 22.07.2024  
Жариялауға қабылданды 06.09.2024*

**Е.С. Жарыкбасов<sup>1\*</sup>, К.С. Жарыкбасова<sup>2</sup>, С.С. Толеубекова<sup>1</sup>, М.М. Джумажанова<sup>1</sup>,  
А.М. Байкадамова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Alikhan Bokeikhan University  
071400, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Мәңгілік Ел, 11  
\*e-mail: erlan-0975@mail.ru

## **РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ СУХОГО КОНЦЕНТРАТА ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТВОРОЖНЫХ ПРОДУКТОВ**

**Аннотация:** В статье представлены результаты исследования, направленного на разработку и оптимизацию технологического процесса получения сухого концентрата пищевых волокон из пшеничных отрубей для использования в производстве творожных продуктов. Основной целью исследования было создание способа получения пищевых волокон, который позволяет повысить функциональные и качественные характеристики творожных изделий, улучшая их текстуру, стабильность и питательную ценность. Исследование охватывало теоретическое сравнение различных методов выделения пищевых волокон, включая кислотный и ферментативный подходы. Было установлено, что ферментативный метод обладает рядом преимуществ, таких как сохранение функциональных свойств волокон, экологичность и более высокая эффективность. Оптимизация процесса сушки показала, что температурный режим 55-60°C и продолжительность не более 10 часов являются наиболее оптимальным для получения концентрата пищевых волокон с высокой влагоудерживающей способностью. Включение 7% сухого концентрата пищевых волокон в творожные продукты обеспечивает оптимальное улучшение текстуры и органолептических характеристик, не ухудшая при этом их вкусовые качества. Исследование подтверждает перспективность использования полученного сухого концентрата пищевых волокон для улучшения функциональных и качественных характеристик творожных продуктов, что открывает новые возможности для их применения в пищевой промышленности и повышении пищевой ценности молочной продукции.

**Ключевые слова:** творожный продукт, сухой концентрат, пищевые волокна, сушка, функциональные продукты.

### **Введение**

Современные тенденции в разработке инновационных технологий производства функциональных пищевых продуктов акцентируют внимание на научном обосновании использования пищевых волокон в качестве биологически активных добавок. Исследования подтверждают многочисленные положительные эффекты пищевых волокон на здоровье, включая контроль веса, снижение риска сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета 2 типа и некоторых видов рака, а также общее улучшение состояния организма [1, 2, 3].

Обогащение молочных продуктов пищевыми волокнами является эффективным способом повышения их питательной ценности и улучшения функциональных свойств, включая влияние на реологические и термические характеристики конечного продукта [4]. В творожных продуктах пищевые волокна способствуют созданию более плотной и кремообразной текстуры, улучшают вкусовые качества и стабилизируют состав, предотвращая отделение сыворотки и сохраняя структуру на протяжении длительного времени. Кроме того, добавление пищевых волокон обогащает творог полезными компонентами, такими как растворимые и нерастворимые волокна, которые могут быть полезны для здоровья пищеварительной системы и общего благополучия [5-8].

Пищевые волокна, содержащиеся в отрубях зерновых культур, играют ключевую роль в поддержании здоровья пищеварительной системы, снижении риска сердечно-сосудистых заболеваний, а также в регулировании уровня сахара в крови.

На основе анализа литературных данных установлено, что пшеничные, ржаные и овсяные отруби среди зерновых культур являются ценным источником пищевых волокон и других питательных веществ, способствующих общему здоровью организма. Пшеничные

отруби содержат значительное количество как растворимой, так и нерастворимой клетчатки, что положительно влияет на здоровье пищеварительной системы и облегчает процесс пищеварения. Они также являются источником витаминов группы В, минералов (железо, магний, цинк) и антиоксидантов, поддерживающих общее здоровье и иммунную систему. Ученые отмечают, что пшеничные отруби (WB), являющиеся побочным продуктом при измельчении пшеницы, представляют собой широко доступный ресурс. В настоящее время активно изучается их потенциал в качестве перспективного пищевого ингредиента благодаря высокому содержанию диетических волокон, полезных для здоровья [9-11].

Процессы получения пищевых волокон из отрубей зерновых культур в целом схожи, однако ключевую роль играет правильный выбор метода обработки сырья. Существует несколько методов выделения пищевых волокон из растительного сырья, включая обработку в нейтральной, кислой или щелочной среде, использование солей сернистой кислоты, перекисей, а также ферментативные методы. Для выделения пищевых волокон из отрубей зерновых культур наиболее распространены кислотный и ферментативный методы. Ферментативный метод выделения пищевых волокон обеспечивает селективность, сохранение функциональных свойств, мягкость обработки, экологичность и легкую интеграцию в технологические процессы, превосходя кислотный метод. Применение ферментации для выделения пищевых волокон из зерновых отрубей представляет более натуральный и биологически обоснованный способ, который может быть эффективным в производстве пищевых продуктов [12-15].

Исследования в области применения пищевых волокон из зерновых отрубей для обогащения функциональных продуктов питания является актуальным направлением. Ферментативный метод выделения пищевых волокон, в сравнении с кислотным, представляет собой более экологически чистый и биологически обоснованный подход, способствующий сохранению функциональных свойств и улучшению пищевой ценности продуктов. Исследование и развитие технологий в этом направлении имеют значительный потенциал для повышения качества и пользы функциональных продуктов, что делает его не только актуальным, но и перспективным для дальнейших научных разработок.

В данной работе для проведения экспериментальных исследований в качестве сырья для получения сухого концентрата пищевых волокон выбраны пшеничные отруби. Для выделения пищевых волокон из пшеничных отрубей выбран ферментативный метод.

На основании вышеизложенного в работе поставлена цель - разработка и оптимизация технологического процесса получения сухого концентрата пищевых волокон из пшеничных отрубей для улучшения функциональных и качественных характеристик творожного продукта.

#### **Методы исследования**

1) Определение массовой доли влаги в сухом концентрате пищевых волокон

Образец сухого концентрата пищевых волокон массой 2-5 г помещают в предварительно взвешенную чистую и сухую чашку, записывают общую массу, затем сушат при  $105 \pm 2$  °С в течение 3-4 часов в сушильном шкафу. После сушки чашку с образцом охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры и снова взвешивают для определения остаточной массы. Разница между массой до и после сушки используется для расчета массовой доли влаги в образце.

Массовая доля влаги рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

где:  $m_1$  – масса пустой чашки, г;

$m_2$  – масса чашки с влажным образцом, г;

$m_3$  – масса чашки с высушенным образцом, г.

2) Определение содержания пищевых волокон в сухом концентрате пищевых волокон проводилось по ГОСТ 34844-2022 «Продукты переработки зерна. Методы определения пищевых волокон».

3) Определение предельного напряжения сдвига

Для определения величины предельного напряжения используется прибор «Структурометр» (Элтемикс-лаб, Россия).

Предельное напряжение сдвига (в паскалях) вычисляется на основе глубины погружения конуса с помощью формулы:

$$\theta = K \cdot \frac{F}{h^2}, \quad (2)$$

где: F – значение погружения, Н;

h – общая глубина погружения конуса, м;

K – константа конуса, зависящая от угла конуса  $\alpha$  при вершине.

4) Определение влагоудерживающей способности по ГОСТ 7636-85 «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа».

Влагоудерживающую способность определяют при помощи прибора планиметра. Путем прессования 100 мг навески исследуемого продукта на фильтровальной бумаге выделяют влагу, измеряют площадь общего пятна и площадь пятна продукта.

Влагоудерживающую способность (ВУС) в процентах рассчитывают по формуле:

$$\text{ВУС} = \frac{m_w - 8.4(S_1 - S_2)}{m} \times 100, \quad (3)$$

где:  $m_w$  – содержание влаги в навеске, мг;

$S_1$  – площадь общего пятна,  $\text{см}^2$ ;

$S_2$  – площадь пятна продукта,  $\text{см}^2$ ;

m – навеска продукта, мг

### Результаты исследования

На основе проведенных экспериментальных исследований разработан ферментативный метод получения экстракта пищевых волокон. Процесс ферментативной обработки пшеничных отрубей включает последовательное применение амилолитического фермента для снижения содержания крахмала, а затем целлюлолитического фермента для разрушения клеточных структур пшеничных отрубей и высвобождения пищевых волокон из растительного материала, что делает их более доступными для усвоения организмом. В подготовленные пшеничные отруби при значении pH 6,5 и температуре 50 °C добавляли ферментный препарат  $\alpha$ -амилаза в оптимальной дозировке 4 мл на 100 г сырья. В ходе проведенных исследований было установлено, что видимый предел гидролиза крахмала достигается через 2 часа с момента начала ферментации. На основании полученных данных, спустя 2 часа после начала процесса, вносили фермент целлюлазу в количестве 0,34 мл на 100 г сырья. После завершения ферментации смесь подвергали механической экстракции с использованием роторного гомогенизатора при температуре  $50 \pm 5$  °C для отделения пищевых волокон от других компонентов, включая жидкость и остатки отрубей. Для повышения концентрации пищевых волокон в экстракте проводился процесс фильтрации при температуре  $40 \pm 5$  °C.

На основе анализа литературных источников установлено, что 50-60 °C является оптимальной температурой сушки подготовленного экстракта. Вместе с тем, продолжительность сушки зависит от биохимического метода обработки исходного сырья [16, 17]. В связи с этим проведены исследования для определения оптимального времени сушки экстракта пищевых волокон. Сушку проводили на горизонтальном дегидраторе Classic SD-P9000 (Tribest, Южная Корея) при температуре 55-60 °C до содержания сухих веществ в конечном продукте не более 10 %. Массовую долю влаги и общее содержание пищевых волокон в процессе сушки определяли через каждые 2 часа.

Результаты исследования представлены на рисунке 1.

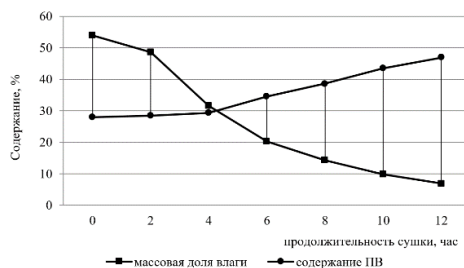


Рисунок 1 – Влияние продолжительности сушки на изменение массовой доли влаги и общего содержания ПВ в исследуемом сырье

Как видно из рисунка 1, при сушке экстракта пищевых волокон, содержащего 53,9% влаги и 27,9% пищевых волокон, через 12 часов наблюдается снижение массовой доли влаги до 8,8%, при этом содержание пищевых волокон увеличивается до 48,5%. По мере увеличения продолжительности сушки массовая доля влаги уменьшается, а общее содержание пищевых волокон возрастает. Анализ литературных источников показывает, что значительное снижение массовой доли влаги приводит к снижению влагоудерживающей способности продукта. В связи с этим влагоудерживающая способность концентрата пищевых волокон была исследована через 6 часов от начала процесса сушки при существенном снижении массовой доли влаги.

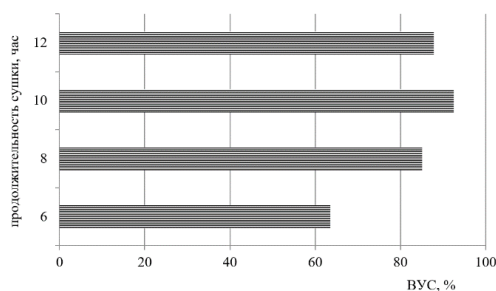


Рисунок 2 – Влияние продолжительности сушки на ВУС концентрата ПВ

Как видно из рисунка 2, по истечении 10 часов сушки значение влагоудерживающей способности (ВУС) сухого концентрата пищевых волокон достигло 92,5% при массовой доле влаги 10%. С дальнейшим увеличением продолжительности сушки ВУС понижается до 87,9%.

В результате проведенных исследований установлено, что процесс сушки экстракта пищевых волокон необходимо проводить при температуре 55-60 °С не более 10 часов.

В результате исследований установлено, что в сухом концентрате общее содержание пищевых волокон (ПВ) составляет 43,5%. Содержание нерастворимых пищевых волокон составило 78,0%, растворимых волокон – 22,0%.

На следующем этапе исследовано влияние полученного сухого концентрата пищевых волокон на состав и свойства творожного продукта с массовой долей жира 9 %.

Результаты исследования влияния разных доз сухих пищевых волокон на состав творожного продукта представлен на рисунке 3.

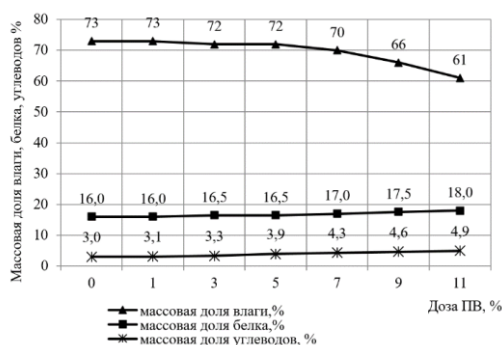


Рисунок 3 – Влияние сухого концентрата пищевых волокон на состав творожного продукта

Как видно из рисунка 3, с увеличением дозы сухого концентрата пищевых волокон массовая доля влаги в творожном продукте уменьшается. Необходимо отметить, что при добавлении 9% сухого концентрата пищевых волокон творожный продукт приобретает сухую и грубую консистенцию. С увеличением дозы пищевых волокон до 11% продукт приобретает более сухую, грубую и крошливую консистенцию.

При добавлении сухого концентрата пищевых волокон содержание массовой доли белка и углеводов повышается незначительно, что можно объяснить содержанием растительных белков и углеводов в составе пищевых волокон.

На следующем этапе исследования было изучено влияние сухого концентрата пищевых волокон на плотность, консистенцию и текстурные свойства творожного продукта.

Для этого был определен показатель предельного напряжения сдвига творожного продукта в зависимости от дозы добавленных пищевых волокон. Результат исследования представлен на рисунке 4.

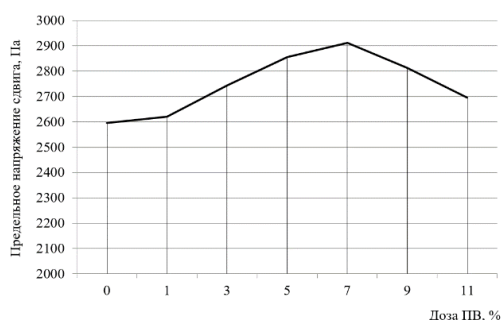


Рисунок 4 – Зависимость изменения предельного напряжения сдвига от дозы вносимых ПВ

Как показано на рисунке 4, добавление пищевых волокон до 7% улучшает текстурные свойства творожного продукта, повышая его устойчивость к сдвиговым нагрузкам. Превышение же дозы пищевых волокон свыше 7% приводит к ухудшению текстуры, делая продукт менее устойчивым, вероятно, из-за изменения структуры и уменьшения содержания влаги.

Результат исследования влияния сухого концентрата пищевых волокон на влагоудерживающую способность творожного продукта представлен на рисунке 5.

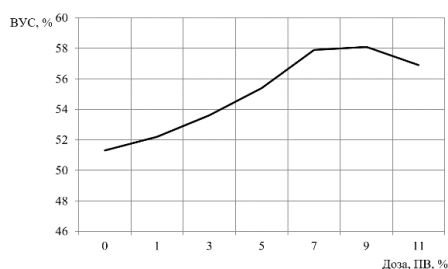


Рисунок 5 – Влияние дозы пищевых волокон на ВУС творога

Как видно из рисунка 5, с увеличением дозы пищевых волокон до 7-9% повышается влагоудерживающая способность творожного продукта. С увеличением дозы пищевых волокон данный показатель понижается, по-видимому, из-за избыточного количества волокон, что приводит к уплотнению структуры, изменению гидратации волокон и нарушению способности гелеобразования.

#### **Обсуждение результатов исследования**

Исследование, направленное на разработку и оптимизацию технологического процесса получения сухого концентрата пищевых волокон из пшеничных отрубей, выявило ряд существенных результатов, обладающих значимой практической ценностью для пищевой промышленности, особенно в аспекте повышения качественных характеристик творожного продукта.

Применение ферментативного метода обработки пшеничных отрубей показало высокую эффективность в увеличении доступности пищевых волокон для усвоения организмом. Это стало возможным благодаря последовательному применению амилολитического и целлюлолитического ферментов, что позволило разрушить клеточные структуры отрубей и высвободить пищевые волокна. Данный процесс, сопровождаемый механической экстракцией и фильтрацией, обеспечил получение высококонцентрированного экстракта пищевых волокон, что подтверждается данными о значительном снижении массовой доли влаги и увеличении содержания пищевых волокон после 12 часов сушки.

На основании исследования влагоудерживающей способности сухого концентрата пищевых волокон в процессе сушки установлено, что при температуре 55-60 °С оптимальная продолжительность сушки составляет 10 часов. При данных режимах достигается максимальная влагоудерживающая способность (92,5%), что является критически важным для поддержания желаемых текстурных свойств и стабильности творожного продукта.

Дальнейшее увеличение продолжительности сушки приводит к избыточному удалению влаги, что, в свою очередь, снижает влагоудерживающую способность концентрата пищевых волокон до 87,9%. Это снижение связано с изменением гидратационных свойств волокон, что может негативно повлиять на качество конечного продукта, делая его более сухим и менее привлекательным с органолептической точки зрения.

На основании исследования влияния сухого концентрата пищевых волокон, полученного из пшеничных отрубей, на состав и свойства творожного продукта с массовой долей жира 9% установлено, что увеличение дозы сухого концентрата пищевых волокон приводит к снижению массовой доли влаги в творожном продукте. При добавлении 9% и более сухого концентрата пищевых волокон консистенция творожного продукта становилась слишком сухой и грубой, что связано со значительным снижением свободной влаги в продукте.

Анализ текстурных свойств показал, что добавление до 7% пищевых волокон улучшает устойчивость творожного продукта к сдвиговым нагрузкам, что свидетельствует о формировании более плотной и устойчивой структуры. Тем не менее, превышение дозы волокон свыше 7% приводило к ухудшению текстуры, вероятно, из-за чрезмерного уплотнения структуры продукта и уменьшения содержания влаги, что делало продукт менее устойчивым к механическим воздействиям.

Также было установлено, что при добавлении сухого концентрата пищевых волокон в дозе 7-9% наблюдалось максимальное повышение влагоудерживающей способности творожного продукта. Дальнейшее увеличение дозы пищевых волокон приводило к снижению этого показателя, что, вероятно, связано с избыточным количеством волокон, вызывающим уплотнение структуры, изменение гидратационных свойств и ухудшение способности к гелеобразованию.

#### **Заключение**

На основании проведенных исследований разработан способ получения сухого концентрата пищевых волокон из пшеничных отрубей. Оптимальным режимом сушки экстракта пищевых волокон является 55-60°C продолжительностью 10 часов. Установлено, что доза 7% является оптимальной для добавления сухого концентрата пищевых волокон в творожный продукт. При этой дозировке достигается наилучший баланс между улучшением текстурных свойств, повышением влагоудерживающей способности и сохранением желаемых органолептических характеристик продукта.

#### **Список литературы**

1. Chemical composition, structure, physicochemical and functional properties of rice bran dietary fiber modified by cellulose treatment / Y. Liu et al // *Food Chemistry*. – 2021. – Vol. 342. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128352>.
2. Effects of dietary fiber on human health: A Review / S.P. Merenkova et al // *Human. Sport. Medicine*. – 2020. – Vol. 20, №1. – P. 106-113.
3. Effects of dietary fiber on human health / Y. He et al // *Food Science and Human Wellness*. – 2022. – Vol. 11, № 1. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.07.001>.
4. Ambuja S.R. Review On «Dietary Fiber Incorporated Dairy Foods: A Healthy Trend» / S.R. Ambuja, S.N. Rajakumar // *International Journal of Engineering and Application*. – 2018. – Vol. 8, № 2. – P. 34-40.
5. Галушина П.С. Применение пищевых волокон при производстве молочных продуктов / П.С. Галушина // *Тенденции развития науки и образования*. – 2023. – № 103-7. – С. 208-211.
6. Гаврилова Н.Б. Мягкий творог с пищевыми волокнами / Н.Б. Гаврилова, Е.А. Молибога, В.А. Демидова // *Молочная промышленность*. – 2017. – № 12. – С. 56-57.
7. Ибатуллина Л.А. Творожный продукт с растительным сырьем / Л.А. Ибатуллина, С.Г. Канарейкина // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. – 2023. – № 3(80). – С. 23-33.
8. Aydinol P. Production of reduced-fat Labneh cheese with inulin and  $\beta$ -glukan fibrebased far replacer / P. Aydinol, T. Ozcan // *International Journal Dairy Technology*. – 2018. – Vol. 71, № 2. – P. 362-371.
9. Effects of insoluble dietary fiber wheat bran on noodle quality / M. Lei et al // *Grain & Oil Science and Technology*. – 2021. – Vol.4, № 1. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2020.11.002>.



10. Wheat bran as potential source of dietary fiber: Prospects and challenges / P. Saini et al // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2023. – Vol. 116. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105030>.
11. Wheat bran, as the resource of dietary fiber: a review / W. Cheng et al // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2022. – Vol. 62, № 26. – P. 7269-7281.
12. Comparativa study on chemical composition, functional properties of dietary fibers prepared from four China cereal brans / Q. Wu et al // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2024. – Vol. 257. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128510>.
13. Алимов А.В. Обоснование возможности использования комплексного ферментного препарата для получения пищевых волокон из вторичных ресурсов переработки овощного сырья / А.В. Алимов, М.Е. Цибизова // *Вестник МГТУ. Труды Мурманского Государственного технического университета*. – 2016. – Т. 19, № 3. – С. 563-568.
14. Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review / H. Zhang et al // *Food Research International*. – 2018. – Vol. 113. – P. 24-35.
15. Kapreliants L. Technology of wheat and rye bran biotransformation into functional ingredients / Kapreliants L., Zhurlova O. // *International Food Research Journal*. – 2017. – Vol. 24, № 5. – P. 1975-1979.
16. Modifying Effects of Physical Processes on Starch and Dietary Fiber Content of Foodstuffs / R. Nagy et al // *Processes*. – 2021. – Vol. 9, № 1. <https://doi.org/10.3390/pr9010017>.
17. Insight into the mechanism of myofibrillar protein gel improved by insoluble dietary fiber / X. Zhuong et al // *Food Hydrocolloids*. – 2018. – Vol 74. – P. 219-226.

### References

1. Chemical composition, structure, physicochemical and functional properties of rice bran dietary fiber modified by cellulose treatment / Y. Liu et al // *Food Chemistry*. – 2021. – Vol. 342. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128352>. (In English).
2. Effects of dietary fiber on human health: A Review / S.P. Merenkova et al // *Human. Sport. Medicine*. – 2020. – Vol. 20, №1. – P. 106-113. (In English).
3. Effects of dietary fiber on human health / Y. He et al // *Food Science and Human Wellness*. – 2022. – Vol. 11, № 1. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.07.001>. (In English).
4. Ambuja S.R. Review On «Dietary Fiber Incorporated Dairy Foods: A Healthy Trend» / S.R. Ambuja, S.N. Rajakumar // *International Journal of Engineering and Application*. – 2018. – Vol. 8, № 2. – P. 34-40. (In English).
5. Galushina P.S. Primenenie pishchevykh volokon pri proizvodstve molochnykh produktov / P.S. Galushina // *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. – 2023. – № 103-7. – S. 208-211. (In Russian).
6. Gavrilova N.B. Myagkii tvorog s pishchevymi voloknami / N.B. Gavrilova, E.A. Moliboga, V.A. Demidova // *Molochnaya promyshlennost'*. – 2017. – № 12. – S. 56-57. (In Russian).
7. Ibatullina L.A. Tvorozhnyi produkt s rastitel'nym syr'em / L.A. Ibatullina, S.G. Kanareikina // *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov*. – 2023. – № 3(80). – S. 23-33. (In Russian).
8. Aydinol P. Production of reduced-fat Labneh cheese with inulin and  $\beta$ -glukan fibrebased far replacer / P. Aydinol, T. Ozcan // *International Journal Dairy Technology*. – 2018. – Vol. 71, № 2. – P. 362-371. (In English).
9. Effects of insoluble dietary fiber wheat bran on noodle quality / M. Lei et al // *Grain & Oil Science and Technology*. – 2021. – Vol.4, № 1. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2020.11.002>. (In English).
10. Wheat bran as potential source of dietary fiber: Prospects and challenges / R. Saini et al // *Journal of Food Composition and Analysis*. – 2023. – Vol. 116. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105030>. (In English).
11. Wheat bran, as the resource of dietary fiber: a review / W. Cheng et al // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2022. – Vol. 62, № 26. – P. 7269-7281. (In English).
12. Comparativa study on chemical composition, functional properties of dietary fibers prepared from four China cereal brans / Q. Wu et al // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2024. – Vol. 257. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128510>. (In English).
13. Alimov A.V. Obosnovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya kompleksnogo fermentnogo preparata dlya polucheniya pishchevykh volokon iz vtorichnykh resursov pererabotki ovoshchnogo syr'ya / A.V. Alimov, M.E. Tsibizova // *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo Gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. – 2016. – Т. 19, № 3. – С. 563-568. (In Russian).

14. Preparation and modification of high dietary fiber flour: A review / H. Zhang et al // Food Research International. – 2018. – Vol. 113. – P. 24-35. (In English).
15. Kapreliants L. Technology of wheat and rye bran biotransformation into functional ingredients / Kapreliants L., Zhurlova O. // International Food Research Journal. – 2017. – Vol. 24, № 5. – P. 1975-1979. (In English).
16. Modifying Effects of Physical Processes on Starch and Dietary Fiber Content of Foodstuffs / R. Nagy et al // Processes. – 2021. – Vol. 9, № 1. <https://doi.org/10.3390/pr9010017>. (In English).
17. Insight into the mechanism of myofibrillar protein gel improved by insoluble dietary fiber / X. Zhuong et al // Food Hydrocolloids. – 2018. – Vol 74. – P. 219-226. (In English).

**Е.С. Жарыкбасов<sup>1\*</sup>, К.С. Жарыкбасова<sup>2</sup>, С.С. Толеубекова<sup>1</sup>, М.М. Джумажанова<sup>1</sup>,  
А.М. Байкадамова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы Университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Глинки көшесі, 20 А  
<sup>2</sup>Alikhan Bokeikhan University,  
071400, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Мәңгілік Ел көшесі, 11  
\*e-mail: erlan-0975@mail.ru

### **СҮЗБЕ ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУ ҮШІН ТАҒАМДЫҚ ТАЛШЫҚТАРДЫҢ ҚҰРҒАҚ КОНЦЕНТРАТЫН АЛУ ӘДІСІН ӨЗІРЛЕУ**

*Мақалада сүзбе өнімдерін өндіруде пайдалану үшін бидай кебегінен тағамдық талшықтардың құрғақ концентратын алудың технологиялық процесін әзірлеуге және оңтайландыруға бағытталған зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеудің негізгі мақсаты сүзбе өнімдерінің құрылымын, тұрақтылығын және тағамдық құндылығын жақсарту арқылы олардың функционалдық және сапалық сипаттамаларын арттыруға мүмкіндік беретін тағамдық талшықтарды алу әдісін жасау болды. Зерттеу тағамдық талшықты бөліп алудың әртүрлі әдістерін, соның ішінде қышқылдық және ферментативті тәсілдерді теориялық салыстыруды қамтыды. Ферментативті әдіс талшықтардың функционалдық қасиеттерін сақтау, экологиялық тазалығын және жоғары тиімділік сияқты бірқатар артықшылықтарға ие екендігі анықталды. Кептіру процесін оңтайландыру 55-60 °C температуралық режим мен ұзақтығы 10 сағаттан аспайтынын көрсетті, бұл жоғары ылғал сақтайтын қабілеті бар тағамдық талшық концентратын алу үшін ең қолайлы. Тағамдық талшықтың 7% құрғақ концентратын сүзбе өнімдеріне қосу олардың дәмдік қасиетін бұзбай, құрылымы мен органолептикалық сипаттамаларын оңтайлы жақсартуды қамтамасыз етеді. Зерттеу сүзбе өнімдерінің функционалдық және сапалық сипаттамаларын жақсарту үшін алынған тағамдық талшық құрғақ концентратын пайдалану перспективасын растайды, бұл оларды тамақ өнеркәсібінде қолдануға және сүт өнімдерінің тағамдық құндылығын арттыруға жаңа мүмкіндіктер ашады.*

**Түйін сөздер:** сүзбе өнімі, құрғақ концентрат, диеталық талшық, кептіру, функционалды өнімдер.

**E. Zharykbasov<sup>1\*</sup>, K. Zharykbasova<sup>2</sup>, S. Toleubekova<sup>1</sup>, M. Jumazhanova<sup>1</sup>, A. Baikadamova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, st. Glinka, 20 A  
<sup>2</sup>Alikhan Bokeikhan University,  
071400, Republic of Kazakhstan, Semey, st. Mangilik El, 11  
\*e-mail: erlan-0975@mail.ru

### **DEVELOPMENT OF A METHOD FOR OBTAINING A DRY FOOD FIBER CONCENTRATE FOR THE PRODUCTION OF CURD PRODUCTS**

*The article presents the results of a study aimed at developing and optimizing a process for obtaining dry dietary fiber concentrate from wheat bran for use in the production of curd products. The main objective of the study was to create a method for obtaining dietary fiber that can improve the functional and quality characteristics of curd products, improving their texture, stability and nutritional value. The study covered a theoretical comparison of various methods for isolating dietary fiber, including acid and enzymatic approaches. It was found that the enzymatic method has a number of advantages, such as preserving the functional properties of fibers, environmental friendliness and higher efficiency. Optimization of the drying process showed that a temperature of 55-60 °C and a duration of no more than 10 hours are the most suitable for obtaining a dietary fiber concentrate with high water-holding capacity.*

*The inclusion of 7% dry dietary fiber concentrate in curd products provides an optimal improvement in texture and organoleptic characteristics without deteriorating their taste. The study confirms the potential of using the obtained dry concentrate of dietary fiber to improve the functional and quality characteristics of curd products, which opens up new opportunities for their use in the food industry and increasing the nutritional value of dairy products.*

**Key words:** curd product, curd product, dry concentrate, dietary fiber, drying, functional products.

#### Сведения об авторах

**Ерлан Сауыкович Жарыкбасов\*** – PhD, и.о. ассоциированного профессора кафедры «Биотехнология» Университета имени Шакарима города Семей, Казахстан, e-mail: erlan-0975@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9707-0539>.

**Клара Сауыковна Жарыкбасова** – доктор технических наук, проректор по учебно-методической работе Alikhan Bokeikhan University, Казахстан; e-mail: klara\_zharykbasova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2027-3183>.

**Сандугаш Сайлауовна Толеубекова** – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Биотехнология» Университета имени Шакарима города Семей, Казахстан; e-mail: saltosha-sandu@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2658-9514>.

**Мадина Муратовна Джумажанова** – PhD, старший преподаватель кафедры «Биотехнология» Университета имени Шакарима города Семей, Казахстан; e-mail: madina.omarova.89@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9169-6722>.

**Асемгуль Мадениетовна Байкадамова** – PhD кафедры «Пищевые технологии»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: asemgul93@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0062-6997>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Ерлан Сауыкович Жарыкбасов\*** – PhD, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің «Биотехнология» кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а., Қазақстан; e-mail: erlan-0975@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9707-0539>.

**Клара Сауыковна Жарыкбасова** – техника ғылымдарының докторы, Alikhan Bokeikhan University оқу-әдістемелік жұмыс жөніндегі проректоры, Қазақстан; e-mail: klara\_zharykbasova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2027-3183>.

**Сандугаш Сайлауовна Толеубекова** – техника ғылымдарының кандидаты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің «Биотехнология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Қазақстан; e-mail: saltosha-sandu@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2658-9514>.

**Мадина Муратовна Джумажанова** – PhD, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің «Биотехнология» кафедрасының аға оқытушысы, Қазақстан, e-mail: madina.omarova.89@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9169-6722>.

**Асемгуль Мадениетовна Байкадамова** – «Тамақ технологиялары» кафедрасының PhD докторы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: asemgul93@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0062-6997>.

#### Information about the authors

**Yeralan Zharykbasov\*** – PhD, acting Associate Professor, Department of Biotechnology, Shakarim University, Semey, Kazakhstan; e-mail: erlan-0975@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9707-0539>.

**Klara Zharykbasova** – Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector for Educational and Methodological Work at Alikhan Bokeikhan University, Kazakhstan; e-mail: klara\_zharykbasova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2027-3183>.

**Sandugash Toleubekova** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology at Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: saltosha-sandu@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2658-9514>.

**Madina Jumazhanova** – PhD, Senior Lecturer Department of Biotechnology, Shakarim University, Semey, Kazakhstan; e-mail: madina.omarova.89@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9169-6722>.

**Assemgul Baikadamova** – PhD of the Department of Food Technologies; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: ase-mgul93@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0062-6997>.

*Поступила в редакцию 27.08.2024  
Поступила после доработки 06.09.2024  
Принята к публикации 10.09.2024*

**А.Д. Нызаматдин, Э.К. Асембаева\*, Ж.С. Набиева, А.Ж. Божбанов, М.О. Кожихиева**

Алматы технологиялық университеті,  
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, Төле би көшесі, 100  
\*e-mail: elmiraasembaeva@mail.ru

## **ЕШКІ СҮТІНЕН ЖАСАЛҒАН СҮТҚЫШҚЫЛДЫ ӨНІМІНІҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІ**

**Аңдатпа:** Қазіргі өмір сүру ырғағында өмір сүру сапасын жақсарту және қолдау үшін болашақты бағыт функционалдық өнімді пайдалану мәселесі болып табылады. Бұл жұмыста өсімдік шикізатымен байытылған ешкі сүтінен жасалған симбиотикалық сүтқышқылды өнімнің (йогурт) сапасы мен микробиологиялық көрсеткіштерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеудің мақсаты: сүтқышқылды өнімдердің сапасы мен қауіпсіздігіне айва шәрбатының әсерін зерттеу. Зерттеу жұмысында сүтқышқылды өнім (йогурт) әзірленді. Қосылатын дайын ұйытқының құрамына *Str.thermophilus*, *Lb.bulgaricus*, *Lb.acidophilus* кіреді. Өсімдік тектес табиғи ингредиент ретінде – айва жемісінің шәрбаты алынды.

Ешкі сүтінен йогурт өндіруде айва шәрбатын қосу өнімдердің дәмдік көрсеткіштерін жақсартуға және олардың ассортиментін ұлғайтуға көмектеседі, сонымен қатар өнімді тағамдық талшықтармен, пектиндермен, дәрумендермен және минералдармен, яғни, биологиялық құнды компоненттермен байытуға мүмкіндік береді.

Мақалада сақтау кезінде әзірленген ешкі сүтінен жасалған йогурттардың органолептикалық қасиеттері мен микробиологиялық көрсеткіштерінің өзгеруіне айва шәрбатының әсерін зерттеу нәтижелері берілген. Нәтижесінде микробиологиялық көрсеткіштер бойынша йогурттар 033/2013 КО ТР талаптарына сәйкес келетіні, сәйкесінше МАЖФАНМС берген стандарттардан аспайтыны, ішек таяқшасы тобындағы бактериялардың, ашытқылардың және зеңдердің жоқтығы анықталды. Зерттелетін үлгілердегі сүтқышқылды бактериялардың көбеюі бесінші күні қарқынды болды –  $6,4 \times 10^9$  КТБ, содан кейін микроорганизмдер саны азайды, ал жетінші күні зерттелетін үлгідегі сүтқышқылды бактериялардың өсуі –  $4,5 \times 10^8$  КТБ құрады, осы кезеңдегі бақылау үлгісінің көрсеткіші –  $2,4 \times 10^7$  КТБ болды.

**Түйін сөздер:** ешкі сүті, йогурт, айва шәрбаты, сапа, қауіпсіздік, сақтау мерзімі, органолептикалық бағалау, микробиологиялық көрсеткіштер.

### **Кіріспе**

Қазіргі уақытта тамақ өнеркәсібінде функционалдық тамақ өнімдерін өндіру перспективалы және маңызды бағытқа айналды. Арнайы мақсаттағы сүтқышқылды өнімдерді өндіру рецептке өсімдік тектес ингредиенттерді енгізуді қамтиды. Нәтижесінде олар дәрумендермен, минералдармен, органикалық қышқылдармен және тағамдық талшықтармен байытылып, адам ағзасына пайдалы әсер етеді [1-4].

Ешкі сүтіндегі амин қышқылдарының, дәрумендердің, минералдардың және май қышқылдарының мөлшері мен құрамын зерттеу нәтижелері оны шикізат ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Ешкі сүті шикізат ретінде әлі толық игерілген жоқ, сондықтан одан жасалатын өнімдердің ассортиментін ұлғайту маңызды екені сөзсіз, қазіргі уақытта оларға деген тұтынушылық сұраныс жоғары [5-8].

Сүтқышқылы өнімдер, соның ішінде йогурттар адам ағзасының қорғаныш функцияларын жақсартуға көмектеседі, сондықтан оларды қажетті қоректік заттармен байыту арқылы оларды өндірудің жаңа әдістерін әзірлеу өзекті болып табылады және ашыған сүт өнімдері нарығын кеңейту мәселесін шешеді.

Айва – жаңа піскен күйінде де, өңделген күйінде де тұтынуға болатын құнды диеталық тағам. Алма мен алмұртпен салыстырғанда айва жемістері пектиндік заттарға, органикалық қышқылдарға, аскорбин қышқылына және Р-белсенді қосылыстарға бай. Айвадағы пектиндік заттардың жалпы мөлшері орта есеппен 0,5-1,4%, құрғақ салмағы бойынша 2,6-8,6% құрайды. Орташа алғанда, пектин табиғи жемістердегі заттардың шамамен 3% құрайды, оны табиғи жолмен алу өте қиын, ал оның тұтыну нормаларын қамтамасыз ету үшін күнделікті жемістердің көп мөлшерін тұтыну қажет. Айва құрамындағы пектиндер ас қорытуды және ішек микрофлорасының күйін жақсартады, шіру процестерін азайтады, токсиндердің сіңуін тежейді.

Қанттардың ішінде фруктоза (2,9-6,2%) және глюкоза (2,6-6,7%) басым, сахароза салыстырмалы түрде аз (0,1–1,5%) [9, 10].

Термофильді стрептококпен қатар емдік-профилактикалық сүтқышқылды өнімдерді өндіруде болгар таяқшасы жиі қолданылады. Бұл дақылдар ағзаға оңай сіңетін, патогенді және шартты патогенді микроорганизмдердің өсуін тежейтін, ішектің рН мәнін төмендететін сүт қышқылын шығарады. Сонымен қатар, болгар таяқшасы антибиотиктерді, бактериоциндерді синтездейді. Бактериоцин түзетін штамдарды қолдану сүтқышқылды өнімдердің емдік-профилактикалық сипатын арттырады. Сондықтан, дәстүрлі емес шикізатты қосу арқылы сүтқышқылды өнімдерді жасау кезінде антагонистік қасиеттері бар осы дақылдарды пайдалану ерекше маңызды [11].

*Str.thermophilus*, басқа сүтқышқылды бактериялар сияқты, сүт қышқылын синтездейді және сонымен қатар сүтқышқылы өнімдер үшін қажетті «созылғыш» немесе тұтқыр құрылымды және тұтқырлықты қамтамасыз ететін экзополисахаридтерді (ЭПС) синтездей алады. ЭПС өндіретін дақылдар йогурт өндірісінде ерекше маңызды [12].

*L. acidophilus*-тың көптеген штамдары пробиотиктердің классикалық тобына жатады, олардың «емдік» дозада тұрақты қабылдануы жеке тіндерге, мүшелердің жұмысына және тұтынушының жалпы денсаулығына айтарлықтай пайдалы әсер етеді. Бұл қасиет *L. acidophilus*-тың ауыл шаруашылығы мен медицинаның әртүрлі салаларында кеңінен қолданылуын анықтайды [13].

Демек, жоғарыда келтірілген деректерден айва шәрбатымен байытылған сүтқышқылды өнімдердің технологиясын дамыту өзекті болып табылады деп қорытынды жасауға болады.

**Зерттеу мақсаты:** Айва шәрбатының сүтқышқылды өнімдердің сапасы мен қауіпсіздігіне әсерін зерттеу.

#### **Зерттеу нысаны мен әдістері**

Зерттеу нысаны ретінде Алматы облысы, Еңбекшіқазақ ауданы, Өрікті ауылында орналасқан «Талбаев Әбдіғалым» шаруа қожалығынан алынған ешкі сүті үлгілері, құрамына *Str.thermophilus*, *Lb.bulgaricus*, *Lb. acidophilus* кіретін ацидофильді йогурт (Genesis) ұйытқысы, табиғи өсімдік ингредиенті ретінде – айва жемісінің шәрбаты алынды.

Йогурт үлгілерінің органолептикалық көрсеткіштері бес көрсеткіш бойынша бағаланды: сыртқы түрі, консистенциясы, дәмі, иісі және түсі. Әрбір көрсеткіштің МЕМСТ 31981-2013 «Йогурттар. «Жалпы техникалық шарттар» талаптарына сәйкестігі зерттелді.

Йогурттардағы ақуыздың массалық үлесін Кьельдал әдісімен МЕМСТ 34454-2018 талаптарына сәйкес жүргізілді.

Йогурттағы майдың мөлшері МЕМСТ 5867-90 «Сүт және сүт өнімдері. «Майды анықтау әдістері» бойынша анықталды. Әдіс концентрлі күкірт қышқылы мен изоамил спиртінің әсерінен майды сүтқышқылды өнімдерден бөлуге, центрифугалауға және майдың градуирленген бөлігіндегі бөлінген майдың көлемін өлшеуге негізделген.

Титрлеу қышқылдығы МЕМСТ 3624-92 «Сүт және сүт өнімдері. Қышқылдықты анықтаудың титриметриялық әдістері» бойынша анықталды. Ол Тернер градусымен есептелді және соңғы нәтиже ретінде екі параллельді өлшеу нәтижелерінің орташа арифметикалық мәні алынды.

Тіршілікке қабілетті сүтқышқылды бактериялардың саны МЕМСТ 10444.11-2013 бойынша анықталды.

Зерттелетін йогурт үлгілерінің қауіпсіздігі келесі көрсеткіштермен бағаланды және талданды:

– мезофильді аэробты және факультативті анаэробты микроорганизмдер саны (МАжФАНМС) – қатты қоректік агарда (30±1)°С температурада өсетін микроорганизмдер саны. МАжФАНМС анықтау МЕМСТ 10444.15-94 бойынша;

– ішек таяқшасы тобындағы бактериялардың саны (ИТТБ) МЕМСТ 31747-2012 бойынша;

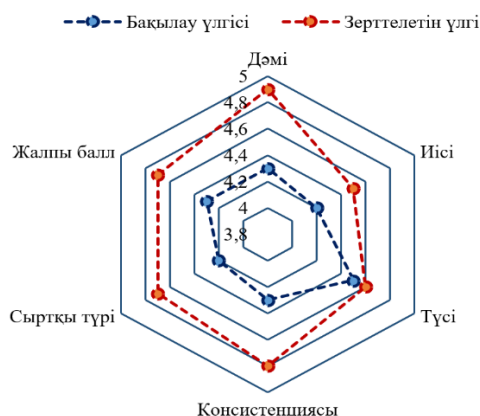
– зеңдер мен ашытқылар МЕМСТ 10444.12-2013 бойынша анықталады.

Зерттелетін йогурт үлгілеріне талдау Алматы технологиялық университетінің «Тамақ қауіпсіздігі» ҒЗИ аккредиттелген сынақ зертханасында жүргізілді.

#### **Зерттеу нәтижелері және оны талдау**

Алынған дайын өнімнің жоғары сапасына қойылатын талап – басты талаптардың бірі. Бәсекеге қабілетті тағам өнімін өндіруде консистенциясы, сыртқы түрі және сақтау мерзімі маңызды рөл атқарады. Азық-түлік сапасы көптеген органолептикалық көрсеткіштерді

қамтитын сипаттамалардың әртүрлі тізімін береді. Өнімнің органолептикалық сапа көрсеткіштері адамның сезім мүшелері арқылы оның сапасын бағалаудың жалпы нәтижесі болып табылады. Өнімді бағалау кезінде сыртқы түрі, түсі, дәмі, иісі және консистенциясы сияқты көрсеткіштер анықталады. Йогурттарды бағалау бес балдық шкала бойынша органолептикалық көрсеткіштерді анықтауға және осы негізде бағаланатын өнімнің жалпы сапасын анықтауға негізделген. Бұл шкала әрбір сапа атрибутын бағалауға арналған бес негізгі сапа деңгейін қамтиды: «5» балл әрқашан жоғары, өте жақсы сапа; «4» балл – жақсы сапа; «3» балл – қанағаттанарлық сапа; «2» балл – қанағаттанарлықсыз, елеулі ауытқулар бар; «1» балл – қанағаттанарлықсыз, көптеген елеулі ауытқулар бар. Шкаланың әрбір элементі сапаның шартты сипаттамасына сәйкес келеді. Йогурт үлгілеріне жүргізілген органолептикалық талдаудың нәтижелері 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 – Йогурт үлгілерінің органолептикалық көрсеткіштері

Йогурт үлгілеріне жүргізілген органолептикалық талдау нәтижесі бақылау үлгісінде – 4,3 балды құраса, зерттелетін үлгіде – 4,8 балды құрады.

Сүтқышқылды өнімдер тез бұзылатын өнімдер болғандықтан, алынған йогурт үлгілері үнемі бақыланып тоңазытқыш жағдайында  $4 \pm 2$  °C температурада сақталды. Сыналатын үлгінің сапа көрсеткіштерін анықтау үшін 1, 3, 5, 7 тәуліктегі органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштеріне талдаулар жүргізілді, оның нәтижелері төмендегі 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Йогурт үлгілерінің сапа көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Сақтау мерзімі, тәулік			
	1 тәулік	3 тәулік	5 тәулік	7 тәулік
Сыртқы түрі және консистенциясы	Біртекті, орташа тұтқыр			
Дәмі мен иісі	Айваның орташа тәтті дәмі мен хош иісі бар, бөгде дәмі мен иісі жоқ таза, сүтқышқылды өнім.			
Түсі	Сүттей ақ, біртекті			
Ақуыз	$3,34 \pm 0,02$	$3,35 \pm 0,03$	$3,35 \pm 0,02$	$3,36 \pm 0,04$
Май	$3,67 \pm 0,04$	$3,67 \pm 0,01$	$3,68 \pm 0,03$	$3,69 \pm 0,02$
Қышқылдық, °T	$77 \pm 0,5$	$79 \pm 1,0$	$83 \pm 1,0$	$85 \pm 0,5$
Температура, °C	$4 \pm 2$	$4 \pm 2$	$4 \pm 2$	$4 \pm 2$

1-кестенің нәтижелері бойынша йогурт үлгілерінің органолептикалық көрсеткіштері 7 тәулік бойы өзгермеді. Сақтау кезінде ақуыздар мен майлар аздап өзгереді. Майдың және ақуыздың аздап артуы айва құрамында аз мөлшерде майдың болуына және йогурттағы ылғалдың булануына байланысты болуы мүмкін. Титрлеу қышқылдығы күн сайын  $77 \pm 0,5$ °T-тан  $85 \pm 0,5$ °T-ға дейін өсті, бірақ қажетті нормадан ауытқыған жоқ.

Азық-түлік қауіпсіздігі тұтынушылардың басты талаптарының бірі болып табылады. Қауіпсіздік – өнімнің сапасын қалыптастыратын, нарықтағы өнімнің бәсекеге қабілеттілігін анықтайтын, сонымен қатар тұтынушылардың тауар мен брендке деген сенімін қалыптастыратын негіз. Азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету адамдардың өмірі мен

денсаулығы үшін ерекше маңызға ие. Көптеген жұқпалы аурулардың қоздырғыштары тамақ арқылы берілуі мүмкін. Микробтық ластану сатып алудың, сақтаудың және дайындаудың барлық кезеңдерінде болуы мүмкін.

Қазіргі уақытта тағамның бұзылуын бағалау үшін көптеген әртүрлі әдістер қолданылады, олардың ішінде микробиологиялық әдістер шешуші рөл атқарады. Соңғы уақытта микроорганизмдердің өсуі мен көбеюі және сақтау кезіндегі химиялық реакциялар арасындағы байланыс тамақ өнімдерінің балғындық және қауіпсіздік дәрежесінің потенциалды көрсеткіші ретінде кеңінен танылады.

Тағамның бұзылуын бағалау үшін Петри табақшасындағы колониялардың нақты санын анықтау арқылы микроорганизмдер популяциясының мөлшерін сандық бағалауға негізделген микробиологиялық әдістер қолданылады.

Ешкі сүтінен дайындалған йогурт үлгілерінің 1, 3, 5, 7 тәулік сақтау кезіндегі микробиологиялық көрсеткіштеріне жүргізілген талдау нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2 – Йогурт үлгілерінің микробиологиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	КО ТР 033/2013	Сақтау мерзімі, тәулік							
		1		3		5		7	
		Бақылау үлгісі	Зерттеле тін үлгі	Бақылау үлгісі	Зерттеле тін үлгі	Бақылау үлгісі	Зерттеле тін үлгі	Бақылау үлгісі	Зерттеле тін үлгі
Сүтқышқылды бактериялар, КТБ/см <sup>3</sup> /(г) кем емес	1×10 <sup>7</sup>	1,2·10 <sup>7</sup>	3,8·10 <sup>8</sup>	2,4·10 <sup>8</sup>	2,6·10 <sup>9</sup>	6,2·10 <sup>8</sup>	6,4·10 <sup>9</sup>	2,4·10 <sup>7</sup>	4,5·10 <sup>8</sup>
МАЖФАНМС, КТБ/см <sup>3</sup> /(г) артық емес	1·10 <sup>3</sup>	2,2·10 <sup>2</sup>	1,2·10 <sup>2</sup>	1,8·10 <sup>2</sup>	1,2·10 <sup>2</sup>	1,6·10 <sup>2</sup>	1,1·10 <sup>2</sup>	1,4·10 <sup>2</sup>	1,0·10 <sup>2</sup>
ІТТБ, 1 см <sup>3</sup> өнімде, КТБ/см <sup>3</sup> (г), артық емес	0,01	Табылмады							
Ашытқы, КТБ/см <sup>3</sup> (г), артық емес	50	Табылмады							
Зеңдер, КТБ/см <sup>3</sup> (г), артық емес	50	Табылмады							

Алынған нәтижелерден айва шәрбатымен байытылған (зерттелетін үлгі) және қоспасыз (бақылау үлгісі) йогурт үлгілерінде сүтқышқылды бактериялардың түзілуі басқа сипатта болды. Йогурттарды айва шәрбатымен байытқан кезде сүт қышқылы микрофлорасының өсуі мен көбеюіне әсер етті. Айва шәрбатымен байытылған үлгілердегі сүт қышқылы микрофлорасының өсуі және көбеюі негізінен бактерияға қарсы әсері бар ұшқыш маңызды заттардың әсерімен, сондай-ақ фенолды триглицеридтердің, қылқанды спирт бензоатының және құрылымдық байланысты қосылыстардың антиоксиданттық белсенділігімен анықталады. Зерттелетін үлгілерде, яғни айва шәрбатымен байытылған йогурт үлгілерінде сүтқышқылды бактериялардың саны бақылау үлгілеріне қарағанда жоғары болды. Зерттелетін үлгілердегі сүтқышқылды бактериялардың көбеюі бесінші күні қарқынды болды – 6,4×10<sup>9</sup> КТБ, содан кейін микроорганизмдер саны азайды, ал жетінші күні зерттелетін үлгідегі сүтқышқылды бактериялардың өсуі – 4,5×10<sup>8</sup> КТБ құрады, осы кезеңдегі бақылау үлгісінің көрсеткіші – 2,4×10<sup>7</sup> КТБ болды. Сүтқышқылды бактериялардың санына сүт қышқылының концентрациясы әсер ететіні белгілі. Зерттелетін үлгілерде сүт қышқылының концентрациясы айва шәрбаты қосылғандықтан бақылау үлгісіне қарағанда жоғары болды.

2-кестеде зерттелетін йогурт үлгілерінің кешенді микробиологиялық көрсеткіштері және сақтау кезіндегі сүт қышқылы микрофлорасының өзгеру динамикасы көрсетілген. Алынған нәтижелер, ең алдымен, йогурттың МАЖФАНМС нормативтік құжаттарында талап етілген деңгейде екенін және ІТТБ, ашытқы және зеңнің болмауы 033/2013 КО ТР талаптарына сәйкес келетінін көрсетеді.

## Қорытынды

Қорытындылай келе, ешкі сүтінен йогурт өндіруде айва шәрбатын қосу тағамдық талшықтарға, дәрумендерге, макро-микроэлементтерге бай өнімдерді өндіруге, сонымен қатар құрамында пектин бар сүт өнімдерінің ассортиментін арттыруға, органолептикалық қасиеттері мен сапасын жақсартуға ықпал ететінін атап өтуге болады.

Қауіпсіздік көрсеткіштерін талдау негізінде йогурт үлгілері микробиологиялық көрсеткіштер бойынша «Сүт және сүт өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» 033/2013 КО ТР талаптарына толық сәйкес келеді деп қорытынды жасауға болады.

## Әдебиеттер тізімі

1. Development of innovative fermented products by exploiting the diversity of immunomodulatory properties and fermentative activity of lactic and propionic acid bacteria / N. Illikoud et al // Food Research International/ – 2023. – Vol. 166. – P. 112557. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112557>.
2. Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria / A.R. Harper et al // Microbial Biotechnology. – 2022. – Т. 15, № 5. – P. 1404-1421. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14008>.
3. Использование растительного сырья при производстве кисломолочных продуктов специализированного питания / Е.И. Решетник и др. // Индустрия питания. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 39-46. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-4-4>.
4. Влияние растительного ингредиента на качество кисломолочных продуктов / Е.Д. Үдербай и др. // Вестник Государственного университета имени Шакарима города Семей. – 2024. – № 2(14). – С. 304-312. [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2\(14\)-37](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-37).
5. Козье молоко – полноценное биологическое сырье / К.Н. Маханбетова и др. // Известия НАН РК. Серия химии и технологий. – 2022. – № 4. – С. 96-106. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1491.96>.
6. Exploring the health benefits and functional properties of goat milk proteins / Q.H. ALKaisy et al // Food science & nutrition. – 2023. – Vol. 11, № 10. – P. 5641-5656. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3531>.
7. Goat milk as a natural source of bioactive compounds and strategies to enhance the amount of these beneficial components / W.M. dos Santos et al // International Dairy Journal. – 2023. – Т. 137. – С. 105515. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105515>.
8. Verruck S. Functionality of the components from goat's milk, recent advances for functional dairy products development and its implications on human health / S. Verruck, A. Dantas, E.S. Prudencio // Journal of functional foods. – 2019. – Т. 52. – С. 243-257. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.017>.
9. Коршунова А.Ф. Разработка ассортимента десертов с использованием айвы / А.Ф. Коршунова, А.С. Гета, Е.В. Грезев // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации. – 2016. – С. 31-34. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_26837699\\_92207620.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26837699_92207620.pdf).
10. Changes in physicochemical and bioactive properties of quince (*Cydonia oblonga* Mill.) and its products / K. Najman et al // Molecules/ – 2023. – Vol. 28, № 7. – P. 3066. <https://doi.org/10.3390/molecules28073066>.
11. Степанова А.П. Антагонистическая активность пробиотических культур, используемых при создании функциональных продуктов / А.П. Степанова, Л.Б. Ловцова // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. – 2018. – № 2. – С. 70-71.
12. Галочкина Н.А. Термофильный стрептококк: технологическая функциональность в пищевых системах, полезные для здоровья продукты метаболизма, видовая идентификация / Н.А. Галочкина, И.А. Глотова, А.А. Толкачева // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания. – 2024. – № 1. – С. 44-50. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2024-1-44-50>.
13. Иркитова А.Н. Практическое значение и желчеустойчивость коллекционных штаммов *Lactobacillus acidophilus* / А.Н. Иркитова // Известия Алтайского государственного университета. – 2014. – Т. 1, № 3(83). – С. 29-33. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2014\)3.1-04](https://doi.org/10.14258/izvasu(2014)3.1-04).

## References

1. Development of innovative fermented products by exploiting the diversity of immunomodulatory properties and fermentative activity of lactic and propionic acid bacteria / N. Illikoud et al // Food Research International/ – 2023. – Vol. 166. – P. 112557. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112557>. (In English).



2. Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria / A.R. Harper et al // Microbial Biotechnology. – 2022. – Т. 15, № 5. – Р. 1404-1421. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14008>. (In English).
3. Ispol'zovanie rastitel'nogo syr'ya pri proizvodstve kislomolochnykh produktov spetsializirovannogo pitaniya / E.I. Reshetnik i dr. // Industriya pitaniya. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 39-46. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-4-4>. (In Russian).
4. Vliyanie rastitel'nogo ingredienta na kachestvo kislomolochnykh produktov / E.D. Yderbai i dr. // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima goroda Semei. – 2024. – № 2(14). – С. 304-312. [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2\(14\)-37](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-37). (In Russian).
5. Koz'e moloko – polnotsennoe biologicheskoe syr'e / K.N. Makhanbetova i dr. // Izvestiya HAH PK. Seriya khimii i tekhnologii. – 2022. – № 4. – С. 96-106. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1491.96>. (In Russian).
6. Exploring the health benefits and functional properties of goat milk proteins / Q.H. ALKaisy et al // Food science & nutrition. – 2023. – Vol. 11, № 10. – P. 5641-5656. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3531>. (In English).
7. Goat milk as a natural source of bioactive compounds and strategies to enhance the amount of these beneficial components / W.M. dos Santos et al // International Dairy Journal. – 2023. – Т. 137. – С. 105515. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105515>. (In English).
8. Verruck S. Functionality of the components from goat's milk, recent advances for functional dairy products development and its implications on human health / S. Verruck, A. Dantas, E.S. Prudencio // Journal of functional foods. – 2019. – Т. 52. – С. 243-257. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.017>. (In English).
9. Korshunova A.F. Razrabotka assortimenta desertov s ispol'zovaniem aivy / A.F. Korshunova, A.S. Geta, E.V. Grezev // Sovremennye tekhnologii: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii. – 2016. – С. 31-34. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_26837699\\_92207620.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26837699_92207620.pdf). (In Russian).
10. Changes in physicochemical and bioactive properties of quince (*Cydonia oblonga* Mill.) and its products / K. Najman et al // Molecules/ – 2023. – Vol. 28, № 7. – P. 3066. <https://doi.org/10.3390/molecules28073066>. (In English).
11. Stepanova A.P. Antagonisticheskaya aktivnost' probioticheskikh kul'tur, ispol'zuemykh pri sozdanii funktsional'nykh produktov / A.P. Stepanova, L.B. Lovtsova // Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhirov. – 2018. – № 2. – С. 70-71. (In Russian).
12. Galochkina N.A. Termofil'nyi streptokokk: tekhnologicheskaya funktsional'nost' v pishchevykh sistemakh, poleznye dlya zdorov'ya produkty metabolizma, vidovaya identifikatsiya / N.A. Galochkina, I.A. Glotova, A.A. Tolkacheva // Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK–produkty zdorovogo pitaniya. – 2024. – № 1. – С. 44-50. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2024-1-44-50>. (In Russian).
13. Irkitova A.N. Prakticheskoe znachenie i zhelcheustoichivost' kolleksiionnykh shtammov *Lactobacillus acidophilus* / A.N. Irkitova // Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2014. – Т. 1, № 3(83). – С. 29-33. [https://doi.org/10.14258/izvasu\(2014\)3.1-04](https://doi.org/10.14258/izvasu(2014)3.1-04). (In Russian).

**А.Д. Нызаматдин, Э.К. Асембаева\*, Ж.С. Набиева, А.Ж. Божбанов, М.О. Кожахиева**

Алматинский технологический университет,  
050012, Республика Казахстан, г. Алматы, улица Толе Би 100  
\*e-mail: [elmiraasembaeva@mail.ru](mailto:elmiraasembaeva@mail.ru)

## **КАЧЕСТВО И БЕЗОПАСНОСТЬ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА ИЗ КОЗЬЕГО МОЛОКА**

*В современном ритме жизни для поддержания и улучшения качества жизни перспективным направлением является использование продуктов функциональной направленности. В данной работе представлены результаты исследования показателей качества и микробиологической стойкости симбиотического кисломолочного продукта (йогурта) из козьего молока, обогащенного смесью растительного сырья. Цель исследования: изучить влияние айвового сиропа на качество и безопасность кисломолочных продуктов. В данной работе разработан кисломолочный продукт (йогурт) функционального назначения. В состав добавляемой готовой закваски входят культуры *Str.thermophilus*, *Lb.bulgaricus*, *Lb. acidophilus*. В качестве натурального ингредиента растительного происхождения применяли сироп плодов айвы.*

*Добавление сиропа айвы в технологию кисломолочного продукта из козьего молока позволит улучшить вкусовые свойства, увеличивать ассортимент, способствует обогащению*

разработанного йогурта пищевыми волокнами и биологически ценными компонентами как пектин, минералы, витамины.

В данной работе приведены исследования изменения органолептических свойств и микробиологических показателей разработанных йогуртов из козьего молока с добавлением сиропа айвы в процессе хранения. Результаты показали, что по микробиологическим показателям йогурты соответствовали требованиям ТР ТС 033/2013, КМАФАнМ не превышали приведенные нормы, а БГКП отсутствовали. Рост молочнокислых бактерий в исследуемых образцах был интенсивным на пятые сутки –  $6,4 \times 10^9$  КОЕ, далее количество микроорганизмов снижалось. На седьмые сутки количество молочнокислых бактерий в исследуемом образце составил –  $4,5 \times 10^8$  КОЕ, показатель контрольной выборки за этот период составил –  $2,4 \times 10^7$  КОЕ.

**Ключевые слова:** козье молоко, йогурт, айвовый сироп, качество, безопасность, срок годности, органолептическая оценка, микробиологические показатели.

**A.D. Nyzamatdin, E.K. Assembayeva\*, Zh.S. Nabyeva, A. Bozhanov, M. Kozhakhiyeva**

Almaty Technological University,  
050012, Republic of Kazakhstan, Almaty, Tole Bi street 100

\*e-mail: elmiraasembaeva@mail.ru

## THE QUALITY AND SAFETY OF GOAT MILK SOUR-MILK PRODUCT

To improve the quality of life of the population, currently a promising direction is the use of functional foods. The article presents the results of the conducted analysis of the quality and safety of symbiotic yogurt from goat milk enriched with a mixture of vegetable raw materials.

Purpose of the study: to study the effect of quince syrup on the quality and safety of fermented milk products. This paper presents the results of the study of the developed fermented milk product (yogurt) for functional purposes. The composition of the added ready-made starter includes the cultures *Str. thermophilus*, *Lb. bulgaricus*, *Lb. acidophilus*. Quince fruit syrup was used as a natural ingredient of plant origin.

Addition of quince syrup in the production of yogurt from goat's milk contributes to obtaining a product enriched with dietary fiber, vitamins, macro-microelements, as well as increasing the range and improving the organoleptic properties of dairy products, including pectin-containing.

The presented article provides comprehensive microbiological indicators of the studied yogurt samples and the dynamics of changes in lactic acid microflora during storage.

The results showed that according to microbiological indicators, the yogurts met the requirements of TR CU 033/2013, QMAFAnM did not exceed the specified standards, and coliform bacteria were absent. The growth of lactic acid bacteria in the studied samples was intense on the fifth day –  $6.4 \times 10^9$  CFU, then the number of microorganisms decreased. On the seventh day, the number of lactic acid bacteria in the studied sample was –  $4.5 \times 10^8$  CFU, the indicator of the control sample for this period was –  $2.4 \times 10^7$  CFU.

**Key words:** goat milk, yogurt, quince syrup, quality, safety, shelf life, organoleptic evaluation, microbiological indicators.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Асем Даулетмуратқызы Нызаматдин** – 2 курс магистранты, Алматы технологиялық университеті, «Тағамдық биотехнология» кафедрасы, Алматы, Қазақстан; e-mail: assemnzmtdn@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9678-3000>.

**Эльмира Куандықовна Асембаева\*** – PhD, Алматы технологиялық университеті, «Тағамдық биотехнология» кафедрасы, Алматы, Қазақстан; e-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7964-7736>.

**Жанар Серикболовна Набиева** – PhD, Алматы технологиялық университеті, Тамақ қауіпсіздігін ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан; e-mail: atu\_nabyeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7258-746X>.

**Алихан Жаксыбекович Божбанов** – биология ғылымдарының кандидаты, Алматы технологиялық университеті, «Тағамдық биотехнология» кафедрасы, Алматы, Қазақстан; e-mail: bozhanov2011@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2139-4523>.

**Мадина Оспановна Кожихиева** – PhD, Алматы технологиялық университеті, «Азық-түлік өнімдерінің технологиясы» кафедрасы, Алматы, Қазақстан; e-mail: madinamko@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5767-5154>.

### Сведения об авторах

**Асем Даулетмуратқызы Нызаматдин** – магистрант 2 курса, Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология», Алматы, Казахстан; e-mail: assemnzmtdn@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9678-3000>.

**Эльмира Куандыковна Асембаева\*** – PhD, Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология», Алматы, Казахстан; e-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7964-7736>.

**Жанар Серикболовна Набиева** – PhD, Алматинский технологический университет, Научно-исследовательский институт пищевой безопасности, Алматы, Казахстан; e-mail: atu\_nabiyeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7258-746X>.

**Алихан Жаксыбекович Божбанов** – кандидат биологических наук, Алматинский технологический университет, кафедра «Пищевая биотехнология», Алматы, Казахстан; e-mail: bozhbanov2011@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2139-4523>.

**Мадина Оспановна Кожахиева** – PhD, Алматинский технологический университет, кафедра «Технология продуктов питания», Алматы, Казахстан; e-mail: madinamko@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5767-5154>.

#### Information about the authors

**Asem Dauletmuratkyzy Nyzamatdin** – master's student, 2nd year, Almaty Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; e-mail: assemnzmtdn@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9678-3000>.

**Elmira Kuandykovna Assembayeva\*** – PhD, Almaty Technological University, Department of Food Biotechnology, Almaty, Kazakhstan; e-mail: elmiraasembaeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7964-7736>.

**Zhanar Serikbolovna Nabiyeva** – PhD, Almaty Technological University, Research Institute of Food Safety, Almaty, Kazakhstan; e-mail: atu\_nabiyeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7258-746X>.

**Alikhan Bozhbanov** – candidate of Biological Sciences, Almaty Technological University, Department of «Food Technology», Almaty, Kazakhstan; e-mail: bozhbanov2011@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2139-4523>.

**Madina Kozhakhievna** – PhD, Almaty Technological University, Department of «Food Technology», Almaty, Kazakhstan; e-mail: madinamko@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5767-5154>.

Редакцияға енуі 29.08.2024  
Өңдеуден кейін түсуі 05.09.2024  
Жариялауға қабылданды 06.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-22](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-22)



FTAXP: 34.27.17

**А.Қ. Серікбай, Т.Б. Абдигалиева\***

Алматы технологиялық университеті,  
050012, Қазақстан республикасы, Алматы қ., Төле би көшесі, 100  
\*e-mail: [tolkyn\\_07.08@mail.ru](mailto:tolkyn_07.08@mail.ru)

### СҮТ ӨНІМДЕРІНЕН БӨЛІНІП АЛЫНҒАН СҮТ ҚЫШҚЫЛДЫ БАКТЕРИЯЛАРДЫҢ АНТИБИОТИКТЕРГЕ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа:** Бұл мақалада бие сүті мен қымыздан оқшауланған сүт қышқылы бактериялары штамдарының (3М, 3К, 7К, 9К, 10К және 11К) әр түрлі антибиотиктерге қарсы төзімділігін зерттеу жұмысының нәтижесі берілген. Жұмыс барысында гентамицин (120 мкг), азитромицин (15 мкг), цефтриаксон (30 мкг), цефуроксим (30 мкг) және хлорамфеникол (30 мкг) сіңірілген дискілер қолданылды.

Алынған нәтижелер бойынша 3К, 10К және 11К штамдары гентамицинге ең жоғары төзімділікті көрсетсе, 10К және 11К штамдары азитромицинге жоғары төзімділікті көрсетті. Цефтриаксон мен цефуроксимге қарсы 11К және 10К штамдары төзімділік танытты. Хлорамфениколға ең төзімді штамдар 11К және 10К болды, ал 3К штамм ең сезімтал болды. Жалпы алғанда, 3К және 3М штамдары антибиотиктердің көпшілігіне, әсіресе цефтриаксон мен цефуроксимге ең төмен қарсылық көрсетті, бұл олардың осы антибиотиктерге жоғары сезімталдығын білдіреді. Ал, 10К және 11К штамдары зерттелінген антибиотиктердің көпшілігіне аздаған тежелу аймақтарын көрсете отырып, ең жоғары төзімділікті айқындады.

Зерттеу жұмысының нәтижелерін антибиотиктерге төзімділігі жоғары сүт қышқылы бактерияларының негізінде пробиотикалық препараттарды әзірлеу және оңтайландыру үшін қолдануға болады. Бұл ішек жолдарының микрофлорасын сақтауға және иммундық жүйені нығайтуға

ықпал ете отырып, әртүрлі тағамдар мен емдік препараттар құрамына пробиотиктерді қолданудың тиімділігін арттырады.

**Түйін сөздер:** сүт қышқылы бактериялары, функционалды тағамдар, антибиотиктер, төзімділік, тежеу аймақтары, пробиотиктер.

## Кіріспе

Соңғы жылдары бүкіл әлем бойынша адам ағзасына жағымды әсер ететін және кейбір дәрі-дәрмектерді алмастыра алатын функционалды тағамдарға деген қызығушылықтың айтарлықтай өскені байқалады [1, 2]. Зерттеушілердің басты назарын әр түрлі функционалды тағамдардың құрамына кіретін пробиотиктер мен тағам өнімдері аударуда [3]. Кейінгі кездері қосымша пробиотикалық қасиеттері бар өнімдердің асортименті айтарлықтай кеңейді. Сүт өнімдерінен басқа, бұл топқа нан өнімдері, ет өнімдері, алкогольсіз сусындар және басқа да тауарлар жатқызылды [4, 5]. Мысалы, Смағұл Ғ.Р. және Синявский Ю.А. мақаласында шоколад өнімдерін пробиотикалық микроорганизмдермен байыту бойынша зерттеу нәтижелері берілген. Жұмыстың нәтижесі бойынша лактобактериялар шоколадтың тағамдық және биологиялық құндылығына оң әсер ететіні анықталған [6]. Сонымен қатар, Пронина Ю. және оның әріптестері ацидофильді лактобактериялармен байытылған «Белевская» пастиласын өндіру технологиясын жасаған. Жұмыстың нәтижесі бойынша қажетті реологиялық қасиеттері бар өнім алынған. Енгізілген пробиотикалық ұйытқы сүт қышқылды бактериялардың өсуіне және дайын өнімнің құрылымына айтарлықтай оң әсер ететіні анықталған [7]. Ал, Аrief I.I. және т.б. ғалымдар сүт қышқылы бактерияларының ферменттелген қой етінен дайындалған шұжықтардың сапасына әсері туралы зерттеулер жүргізген. Жұмыстың нәтижесінде сүтқышқылды бактериялар еттің құрылымын жақсартып, патогенді микроағзалардың дамуының алдын алған [8]. Яғни, осы сияқты зерттеулер қазіргі таңда көптеп жүргізілуде.

Жалпы, сүт қышқылды бактериялар пробиотикалық тағам өнімдерін алу технологиясында маңызды рөл атқарады. Олар өсімдік пен жануарлар шикізатының бастапқы компоненттерінің физикалық-химиялық қасиеттерін өзгерете отырып, өнімдердің органолептикалық сипаттамаларын жақсартып алады. Осындай қасиеттеріне байланысты өнімдердің тағамдық және биологиялық құндылығы артады, сонымен қатар зиянды және патогендік микрофлораның дамуы тежеледі [9-10].

Әртүрлі тағам өнімдерінен оқшауланған сүт қышқылы бактерияларының әртүрлі штаммдарының функционалдық-технологиялық және биохимиялық қасиеттерін салыстыратын зерттеулер көптеп жүргізілуде. Мұндай зерттеулердің мақсаты жоғары сапалы функционалды тамақ өнімдерін өндіру үшін қолданылатын бактериялық ұйытқылардың құрамына кіретін белсенді штаммдарды іріктеу болып табылады [11, 12]. Антибиотиктер сүт қышқылы бактерияларының дамуына айтарлықтай кері әсер етеді. Мысалы, антибиотиктер жануарларды емдеу кезінде шикі сүт құрамына енетін болса, онда дайын өнім алуда қолданылатын ашытқы микрофлорасына ол теріс әсер етуі мүмкін. Бұл өнімнің сапасының нашарлауына әкеліп, антибиотиктерге төзімді бактериялардың дамуына кері ықпал етеді [13]. Антибиотиктерді қабылдау кезінде адам ағзасындағы пайдалы микрофлораның белсенділігі төмендейді, соның салдарынан асқазан-ішек жолындағы патогенді және шартты патогенді микроағзалар санының артуына әкеледі [14]. Осындай жағдайды ескере отырып, пробиотиктер мен олардың негізіндегі дайындалатын тағамдар алуда қолданылатын микроағзаларды таңдаудағы маңызды факторына олардың антибиотиктерге төзімділігі жатады. Антибиотиктер мен антибиотиктерге төзімді микроағзалардың штаммдарын бірге қолдану антибиотикалық терапия үрдісінде ішектің микрофлорасын қалпына келтіруге көмектесетіні де белгілі [15]. Сүт қышқылы бактериялары әртүрлі антибиотиктерге қарсы хромосомалық төзімділікке ие және бұл төзімділік деңгейі бактериялардың белгілі бір түрі мен штаммына байланысты болып келеді [16, 17]. Ғылыми-техникалық әдебиеттерде сүт қышқылы бактерияларында антибиотиктерге төзімділікті басқа бактерияларға таратуға қабілетті плазмидті ДНҚ жоқ екендігі жазылған. Бұл бактерияларда молекулалық салмағы аз (10 МД-ден аз) плазмидалар бар, олар өздігінен тасымалдауға қабілетсіз келеді. Сондықтан, мұндай қасиеттер оларды қауіпсіз және профилактикалық мақсатта қолдануға мүмкіндік береді [18, 19].

Жоғарыда айтылған мәліметтерге байланысты функционалды тамақ өнімдерін өндіруде перспективті сүт қышқылы бактерияларының белсенді штамдарының антибиотиктерге төзімділігін зерттеу өзекті мәселе болып табылады.

**Зерттеу жұмысының мақсаты:** сүт өнімдерінен (бие сүті, қымыз) оқшауланған сүт қышқылы бактериялары штамдарының әртүрлі антибиотиктерге қарсы тұрақтылығын анықтау.

### Зерттеу нысандары мен әдістері

Зерттеу нысандары ретінде бие сүті мен қымыздан бөлініп алынған сүт қышқылы бактерияларының (3М, 3К, 7К, 9К, 10К және 11К) штамдары қолданылды. Шикі бие сүті мен қымыз үлгілері Алматы облысы, Еңбекшіқазақ ауданында орналасқан «Айдарбаев» шаруақожалығындағы Қазақ және Мұғалжар тұқымдарына жататын төрт жарым жастағы биелерінен алынды. 3К, 7К, 9К, 10К және 11К штамдары қымыз, ал 3М штаммы бие сүтінен оқшауланды. Барлық штамдардың биохимиялық сипаттамалары зерттелінген. Олардың барлығы факультативті анаэробты және грам-оң, каталазаға теріс белгі көрсетті, қозғалмайтын болды. Жүргізілген алдыңғы зерттеулерде бұл штамдардың морфологиялық-физиологиялық көрсеткіштері, тұз бен өтке төзімділіктері, патогенді және шартты патогенді микроағзаларға төзімділігі зерттелінген [20].

Тәжірибеде Петри табақшаларында 0,1 мл суспензиядан 1 млрд/мл жасуша есебінде оңтайлы температурада өсірілген бір күндік дақылдар бір пайдаланылды. Штамдардың антибиотиктерге қарсы тұрақтылығы дискті-диффузионды әдіс арқылы анықталды. Зерттеуге алынған штамдардың дақылдарын Петри табақшасына еккеннен кейін, антибиотиктермен сіңірілген дискілер қоректік ортаның бетіне орналастырылды. Дақылдарды сіру 37°C температурада 72 сағат бойы жүргізілді. Сүт қышқылы бактерияларының антибиотиктерге сезімталдығын тежелу аймағының диаметрін өлшеу арқылы анықтадық [21].

Зерттеу жұмысының барысында келесі антибиотиктермен сіңірілген дискілер қолданылады: гентамицин (120 мкг), азитромицин (15 мкг), цефтриаксон (30 мкг), цефуросим (30 мкг), левомицетин (30 мкг). Бұлар цефалоспориндер, аминогликозидтер және макролидтер топтарына жататын үшінші буынды антибиотиктер. Олар әртүрлі бактериялық инфекцияларды емдеу үшін қолданылады.

Тәжірибе үш рет қайталану арқылы орындалды.

Нәтижелер  $\pm$  стандартты қателіктердің орташа мәндері ретінде ұсынылды. Зерттеулер нәтижесінде алынған деректер Microsoft Excel бағдарламасын қолдана отырып, вариациялық-статистикалық өңдеуден өтті. Айырмашылықтар  $P \geq 0,05$  мәнінде статистикалық маңызды деп саналды.

### Зерттеу нәтижелері және оларды талдау

Сүт қышқылы бактерияларының антибиотиктерге қарсы тұрақтылығын анықтау бойынша жүргізілген жұмыстың 1-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – Сүтқышқылды бактериялар штамдарының әртүрлі антибиотиктерге тұрақтылығын анықтау нәтижелері

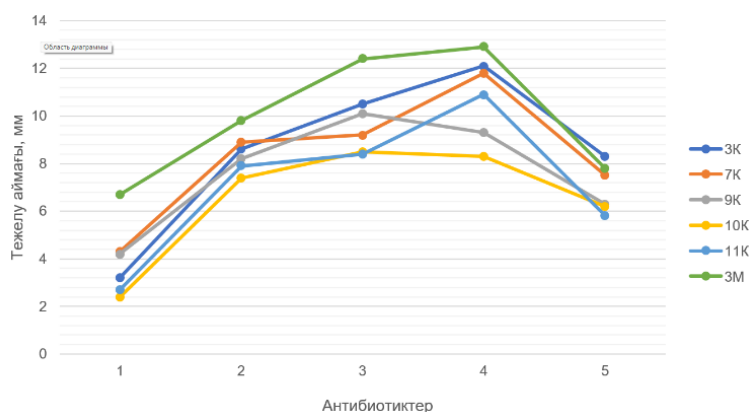
№	СҚБ штаммы	Антибиотиктер, тежелу аймағы (мм)				
		гентамицин (120 мкг)	азитромицин (15 мкг)	цефтриаксон (30 мкг)	цефуросим (30 мкг)	хлорамфеникол (30 мкг)
1	3К	3,2±0,2	8,6±0,4	10,5±0,2	12,1±0,3	8,3±0,1*
2	7К	4,3±0,1	8,9±0,2	9,2±0,3	11,8±0,1	7,5±0,1
3	9К	4,2±0,3	8,2±0,1	10,1±0,1	9,3±0,1	6,3±0,4
4	10К	2,4±0,1	7,4±0,3*	8,5±0,1	8,3±0,4	6,2±0,3
5	11К	2,7±0,1*	7,9±0,3	8,4±0,4*	10,9±0,3*	5,8±0,1
6	3М	6,7±0,4*	9,8±0,2	12,4±0,2*	12,9±0,2	7,8±0,3

\*- $P \geq 0,05$

Алынған мәліметтерден 3К (3,2±0,2 мм), 10К (2,4±0,1 мм) және 11К (2,7±0,1) штамдары гентамицинге ең төзімді екенін атап өтуге болады ( $P \geq 0,05$ ). Ең төмен төзімділік көрсеткіштерін 6,7±0,4 мм тең тежелу аймағы бар 3М штаммы көрсетті, бұл 3К штаммынан 3,5 мм артық және 10К штаммынан 4,3 мм артық.

Азитромицинге ең төзімді штаммдар қатарына 10К ( $7,4 \pm 0,3$  мм) және 11К ( $7,9 \pm 0,3$  мм) жатқызылды. Ал, 3М штаммы тежелу аймағы ең аз көрсеткішті ( $9,8 \pm 0,2$  мм) көрсетті, бұл 10К штаммынан 2,4 мм артық және 11К штаммынан 1,9 мм артық. Осыған ұқсас жұмыстар Мықтыбаева Р.Ж., Кожахметова Р.А. және т.б. (2024) зерттеулерінде жүргізілген, онда зерттеу нысандары ретінде табиғи көздерден оқшауланған *Lactobacillus* тұқымдасына жататын сүт қышқылы бактерияларының штаммдары қолданылған. Нәтиже бойынша лактобактерия 5 штаммының ішінде 3 штамм азитромицинге, бензилпенициллинге, стрептомицинге, полимиксинге, канамицинге, нистатинге, ампициллинге және карбенициллинге төзімділік көрсеткен [22].

Сүтқышқылы бактерияларының антибиотиктерге қарсы тұрақтылық көрсеткіштерінің диаграммасы 1-суретте берілген.



Сурет 1 – Сүтқышқылды бактериялардың антибиотиктерге қарсы тұрақтылық көрсеткіштері

Цефтриаксонға қарсы ең төзімді штаммдар 11К ( $8,4 \pm 0,4$  мм) және 10К ( $8,5 \pm 0,1$  мм) болды. 3М штаммының тежелу аймағы орта есеппен  $12,4 \pm 0,2$  мм тең болды, бұл 11К штаммынан 4 мм артық және 10К штаммынан 3,9 мм артық ( $P \geq 0,05$ ). 10К ( $8,3 \pm 0,4$  мм) және 9К ( $9,3 \pm 0,1$  м) штаммдары цефуроксимге ең жоғары төзімділік көрсетті. Ең төмен төзімділікті 3М штаммы ( $12,9 \pm 0,2$  мм) көрсетті. Оның тежелу аймағы 10К штаммынан 4,6 мм-ге және 9К штаммынан 3,6 мм-ге артық болды. Хлорамфениколға ең төзімді штаммдар 11К ( $5,8 \pm 0,1$  мм) және 10К ( $6,2 \pm 0,3$  мм) болды. Ал, 3К штаммының тежелу аймағының көрсеткіші орта есеппен  $8,3 \pm 0,1$  мм тең болды ( $P \geq 0,05$ ).

3К және 3М штаммдары антибиотиктердің көпшілігіне, әсіресе цефтриаксон мен цефуроксимге ең төмен тұрақтылық көрсетті, бұл олардың осы антибиотиктерге жоғары сезімталдығын көрсетеді. Сонымен қатар, 10К және 11К штаммдары ең жоғары төзімділік көрсетті, бұл штаммдар зерттеуге алынған антибиотиктердің көпшілігіне қарсы тұрақтылығымен ерекшеленді.

### Қорытынды

Жұмыстың нәтижелері бойынша алынған мәліметтер сүт қышқылды бактериялардың штаммдарының әртүрлі антибиотиктерге сезімталдығының айтарлықтай өзгергіштігін көрсетті. Ең төзімді штаммдар қатарына 10К және 11К жатқызылды, олардың тежелу аймақтары басқаларымен салыстырғанда ең аз көрсеткішті көрсетті. Белсенділік көрсеткен бұл штамдарды алдағы уақытта антибиотикалық терапияда ішек микрофлорасының тепе-теңдігін дұрыс сақтауға көмектесетін функционалды тағамдарды өндіруде қолдануға болады.

### Әдебиеттер тізімі

1. Белякова Н.И. Достижения и перспективы разработки продуктов функционального и специализированного назначения / Н.И. Белякова, В.В. Шилов, А.А. Журня // Пищевая промышленность: наука и технологии – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 30-36.
2. Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety / D. Granato et al // Annual review of food science and technology. – 2020. – Vol. 11, № 1. – P. 93-118.
3. Рамонова Э.В. Биотехнологические аспекты производства кисломолочного продукта с добавлением биологически активных природных компонентов растительного происхождения

- / Э.В. Рамонова, Б.Г. Цугкиев, Р.Г. Кабисов // Перспективы развития АПК в современных условиях. – 2019. – С. 307-311.
4. Probiotics in food systems: Significance and emerging strategies towards improved viability and delivery of enhanced beneficial value / A. Terpou et al // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, № 7. – P. 1591.
  5. The production and delivery of probiotics: A review of a practical approach / K. Fenster et al // *Microorganisms*. – 2019. – Vol. 7, № 3. – P. 83.
  6. Исследование возможности обогащения шоколадных и снековых изделий пробиотическими культурами / Ф. Смағұл et al // Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. – 2024, № 1(146). – С. 87-102.
  7. Development of a Technology for Protein-Based, Glueless Belevskaya pastille with study of the impact of probiotic sourdough dosage and technological parameters on its rheological properties / Y. Pronina et al // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, № 19. – P. 3700.
  8. Physicochemical and microbiological properties of fermented lamb sausages using probiotic *Lactobacillus plantarum* IIA-2C12 as starter culture / I.I. Arief et al // *Procedia Environmental Sciences*. – 2014. – Vol. 20. – P. 352-356.
  9. Алтайулы С. Разработка технологии производства кисломолочного продукта на основе использования пробиотических препаратов / С. Алтайулы, Г.Н. Жакупова, А.С. Искаков // *Механика и технологии*. – 2018. – № 1. – С. 60-64.
  10. Bintsis T. Lactic acid bacteria: their applications in foods / T. Bintsis // *J. Bacteriol. Mycol.* – 2018. – Vol. 6, № 2. – P. 89-94.
  11. Behera S.S. *Lactobacillus plantarum* with functional properties: an approach to increase safety and shelf-life of fermented foods / S.S. Behera, R.C. Ray, N. Zdolec // *BioMed research international*. – 2018. – Vol. 2018, № 1. – P. 9361614.
  12. Salvucci E. Technological properties of lactic acid bacteria isolated from raw cereal material / E. Salvucci, J.G. LeBlanc, G. Pérez // *LWT*. – 2016. – Vol. 70. – P. 185-191.
  13. Antimicrobial activity of lactic acid bacteria in dairy products and gut: effect on pathogens / J.L. Arqués et al // *BioMed research international*. – 2015. – Vol. 2015, № 1. – P. 584183.
  14. Impact of antibiotics on the human microbiome and consequences for host health / D.V. Patangia et al // *Microbiologyopen*. – 2022. – Vol. 11, № 1. – P. e1260.
  15. Jose N.M. Implications of antibiotic resistance in probiotics / N.M. Jose, C.R. Bunt, M.A. Hussain // *Food Reviews International*. – 2015. – Vol. 31, № 1. – P. 52-62.
  16. Irkitova A.N. Ecological and biological characteristics of *Lactobacillus acidophilus* / A.N. Irkitova, A.V. Matsyura // *Ukrainian Journal of Ecology*. – 2017. – Vol. 7, № 4. – P. 214-230.
  17. Шевелёва С.А. Антибиотикоустойчивые микроорганизмы в пище как гигиеническая проблема (Обзорная статья) / С.А. Шевелёва // *Гигиена и санитария*. – 2018. – Т. 97, № 4. – С. 342-354.
  18. Исследование *in vitro* пробиотических свойств новых штаммов молочнокислых бактерий, ценных для аквакультуры / А.В. Чижая и др. // *Вестник КазНУ. Серия биологическая*. – 2021. – Т. 89, № 4. – С. 120-136.
  19. Antibiotic resistance in wild and commercial non-enterococcal Lactic Acid Bacteria and Bifidobacteria strains of dairy origin: An update / L. Nunziata et al // *Food Microbiology*. – 2022. – Vol. 104. – P. 103999.
  20. Comparative characterization of strains of lactic acid bacteria isolated from Kazakhstan mare's milk and koumiss to create probiotic preparation / F. Sagymbek et al // *Slovak Journal of Food Sciences/Potravinarstvo*. – 2023. – Vol. 17, № 1. – P. 777-787.
  21. Гурьева В.И. Определение чувствительности пробиотических штаммов бактерий к антибактериальным препаратам диско-диффузионным методом / В.И. Гурьева, В.М. Бачинская, Н.Р. Шарапова // *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 9-16.
  22. Antibiotic resistance of new strains of lactobacilli isolated from natural sources / R.Zh. Myktybaeva et al // *Microbiology and virology*. – 2024. – № 2(45). – P. 262-274.

## References

1. Belyakova N.I. Dostizheniya i perspektivy razrabotki produktov funktsional'nogo i spetsializirovannogo naznacheniya / N.I. Belyakova, V.V. Shilov, A.A. Zhurnya // *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii* – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 30-36. (In Russian).

2. Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety / D. Granato et al // Annual review of food science and technology. – 2020. – Vol. 11, № 1. – P. 93-118. (In English).
3. Ramonova E.H.V. Biotekhnologicheskie aspekty proizvodstva kislomolochnogo produkta s dobavleniem biologicheskii aktivnykh prirodnykh komponentov rastitel'nogo proiskhozhdeniya / E.H.V. Ramonova, B.G. Tsugkiev, R.G. Kabisov // Perspektivy razvitiya APK v sovremennykh usloviyakh. – 2019. – S. 307-311. (In Russian).
4. Probiotics in food systems: Significance and emerging strategies towards improved viability and delivery of enhanced beneficial value / A. Terpou et al // Nutrients. – 2019. – Vol. 11, № 7. – P. 1591. (In English).
5. The production and delivery of probiotics: A review of a practical approach / K. Fenster et al // Microorganisms. – 2019. – Vol. 7, № 3. – P. 83. (In English).
6. Issledovanie vozmozhnosti obogashcheniya shokoladnykh i snekovykh izdelii probioticheskimi kulturemami / F. Smayl et al // L.N. Gumilev atyndary Euraziya ultiq universitetiniñ khabarshysy. – 2024, № 1(146). – S. 87-102. (In Russian).
7. Development of a Technology for Protein-Based, Glueless Belevskaya pastille with study of the impact of probiotic sourdough dosage and technological parameters on its rheological properties / Y. Pronina et al // Foods. – 2023. – Vol. 12, № 19. – P. 3700. (In English).
8. Physicochemical and microbiological properties of fermented lamb sausages using probiotic *Lactobacillus plantarum* IIA-2C12 as starter culture / I.I. Arief et al // Procedia Environmental Sciences. – 2014. – Vol. 20. – P. 352-356. (In English).
9. Altaiuly S. Razrabotka tekhnologii proizvodstva kislomolochnogo produkta na osnove ispol'zovaniya probioticheskikh preparatov / S. Altaiuly, G.N. Zhakupova, A.S. Isakov // Mekhanika i tekhnologii. – 2018. – № 1. – S. 60-64. (In Russian).
10. Bintsis T. Lactic acid bacteria: their applications in foods / T. Bintsis // J. Bacteriol. Mycol. – 2018. – Vol. 6, № 2. – P. 89-94. (In English).
11. Behera S.S. *Lactobacillus plantarum* with functional properties: an approach to increase safety and shelf-life of fermented foods / S.S. Behera, R.C. Ray, N. Zdolec // BioMed research international. – 2018. – Vol. 2018, № 1. – P. 9361614. (In English).
12. Salvucci E. Technological properties of lactic acid bacteria isolated from raw cereal material / E. Salvucci, J.G. LeBlanc, G. Pérez // LWT. – 2016. – Vol. 70. – P. 185-191. (In English).
13. Antimicrobial activity of lactic acid bacteria in dairy products and gut: effect on pathogens / J.L. Arqués et al // BioMed research international. – 2015. – Vol. 2015, № 1. – P. 584183. (In English).
14. Impact of antibiotics on the human microbiome and consequences for host health / D.V. Patangia et al // Microbiologyopen. – 2022. – Vol. 11, № 1. – P. e1260. (In English).
15. Jose N.M. Implications of antibiotic resistance in probiotics / N.M. Jose, C.R. Bunt, M.A. Hussain // Food Reviews International. – 2015. – Vol. 31, № 1. – P. 52-62. (In English).
16. Irkitova A.N. Ecological and biological characteristics of *Lactobacillus acidophilus* / A.N. Irkitova, A.V. Matsyura // Ukrainian Journal of Ecology. – 2017. – Vol. 7, № 4. – P. 214-230. (In English).
17. Sheveleva S.A. Antibiotikoustoichivye mikroorganizmy v pishche kak gigienicheskaya problema (Obzornaya stat'ya) / S.A. Sheveleva // Gigiena i sanitariya. – 2018. – T. 97, № 4. – S. 342-354. (In Russian).
18. Issledovanie in vitro probioticheskikh svoystv novykh shtammov molochnokislykh bakterii, tsennykh dlya akvakul'tury / A.V. Chizhaeva i dr. // Vestnik KazNU. Seriya biologicheskaya. – 2021. – T. 89, № 4. – S. 120-136. (In Russian).
19. Antibiotic resistance in wild and commercial non-enterococcal Lactic Acid Bacteria and Bifidobacteria strains of dairy origin: An update / L. Nunziata et al // Food Microbiology. – 2022. – Vol. 104. – P. 103999. (In English).
20. Comparative characterization of strains of lactic acid bacteria isolated from Kazakhstan mare's milk and koumiss to create probiotic preparation / F. Sagymbek et al // Slovak Journal of Food Sciences/Potravinarstvo. – 2023. – Vol. 17, № 1. – P. 777-787. (In English).
21. Gur'eva V.I. Opredelenie chuvstvitel'nosti probioticheskikh shtammov bakterii k antibakterial'nym preparatam disko-diffuzionnym metodom / V.I. Gur'eva, V.M. Bachinskaya, N.R. Sharapova // Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ehkonomicheskie nauki». – 2024. – T. 10, № 1. – S. 9-16. (In Russian).



22. Antibiotic resistance of new strains of lactobacilli isolated from natural sources / R.Zh. Myktybaeva et al // Microbiology and virology. – 2024. – № 2(45). – P. 262-274. (In English).

**А.К. Серікбай, Т.Б. Абдигалиева\***

Алматынський технологічний університет,  
050012, Республіка Казахстан, г. Алматы, вулиця Тале бі, 100  
\*e-mail: tolkyn\_07.08@mail.ru

### **ИЗУЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТИБИОТИКАМ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ**

*В данном исследовании рассматривались культуры молочнокислых бактерий (3М, 3К, 7К, 9К, 10К и 11К), выделенные из кобыльего молока и кумыса, с целью оценки их устойчивости к различным антибиотикам. Были использованы диски, пропитанные гентамицином (120 мкг), азитромицином (15 мкг), цефтриаксоном (30 мкг), цефуроксимом (30 мкг) и хлорамфениколом (30 мкг).*

*Полученные данные показали, что штаммы 3К, 10К и 11К продемонстрировали наибольшую устойчивость к гентамицину, аналогично, штаммы 10К и 11К показали высокую устойчивость к азитромицину. Для цефтриаксона и цефуроксима наибольшую устойчивость продемонстрировали штаммы 11К и 10К. К хлорамфениколу наиболее резистентными были штаммы 11К и 10К, тогда как штамм 3К оказался наиболее чувствительным. В целом, штаммы 3К и 3М показали наименьшую резистентность к большинству антибиотиков, особенно к цефтриаксону и цефуроксиму, что свидетельствует об их высокой чувствительности к этим препаратам. Напротив, штаммы 10К и 11К продемонстрировали наибольшую устойчивость, показывая минимальные зоны подавления для большинства из исследованных антибиотиков.*

*Полученные данные могут быть использованы для разработки и оптимизации пробиотических препаратов, учитывающих устойчивость молочнокислых бактерий к антибиотикам. Это позволит повысить эффективность использования пробиотиков в различных продуктах питания и лечебных средствах, способствуя поддержанию здоровой микрофлоры кишечника и укреплению иммунной системы.*

**Ключевые слова:** молочнокислые бактерии, функциональные продукты, антибиотики, резистентность, зоны подавления, пробиотики.

**A.K. Serikbay, T.B. Abdigaliyeva\***

Almaty Technological University,  
050012, Republic of Kazakhstan, Almaty, s.Tole bi, 100  
\*e-mail: tolkyn\_07.08@mail.ru

### **STUDY OF ANTIBIOTIC RESISTANCE OF LACTIC ACID BACTERIA ISOLATED FROM DAIRY PRODUCTS**

*In this study, cultures of lactic acid bacteria (3M, 3K, 7K, 9K, 10K and 11K) isolated from mare's milk and koumiss were examined in order to assess their resistance to various antibiotics. Discs impregnated with gentamicin (120 mcg), azithromycin (15 mcg), ceftriaxone (30 mcg), cefuroxime (30 mcg) and chloramphenicol (30 mcg) were used.*

*The data obtained showed that strains 3K, 10K and 11K demonstrated the greatest resistance to gentamicin, similarly, strains 10K and 11K showed high resistance to azithromycin. For ceftriaxone and cefuroxime, strains 11K and 10K demonstrated the greatest resistance. Strains 11K and 10K were the most resistant to chloramphenicol, while strain 3K was the most sensitive. In general, strains 3K and 3M showed the least resistance to most antibiotics, especially ceftriaxone and cefuroxime, which indicates their high sensitivity to these drugs. In contrast, strains 10K and 11K demonstrated the greatest resistance, showing minimal suppression zones for most of the antibiotics studied.*

*The obtained data can be used to develop and optimize probiotic drugs that take into account the resistance of lactic acid bacteria to antibiotics. This will increase the effectiveness of the use of probiotics in various foods and medicines, contributing to the maintenance of healthy intestinal microflora and strengthening the immune system.*

**Key words:** lactic acid bacteria, functional products, antibiotics, resistance, suppression zones, probiotics.

### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Ақерке Қалмырзақызы Серікбай** – «Биотехнология» білім беру бағдарламасының магистранты, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан; e-mail: akerke.k0805@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0008-5255-1994>.

**Толкын Бакытовна Абдигалиева\*** – PhD, Алматы технологиялық университетінің «Тағамдық биотехнология» кафедрасының қаумдастырылған профессоры, Алматы, Қазақстан; e-mail: [tolkyn\\_07.08@mail.ru](mailto:tolkyn_07.08@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1404-8852>.

#### Сведения об авторах

**Акерке Қалмырзақызы Серікбай** – магистрант образовательной программы «Биотехнология», Алматы, Казахстан; e-mail: [akerke.k0805@gmail.com](mailto:akerke.k0805@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0008-5255-1994>.

**Толкын Бакытовна Абдигалиева\*** – PhD, асс.профессор Алматинского технологического университета, кафедра «Пищевая биотехнология», Алматы, Казахстан; e-mail: [tolkyn\\_07.08@mail.ru](mailto:tolkyn_07.08@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1404-8852>.

#### Information about the authors

**Akerke Kalmyrzakzy Serikbay** – master's student of the educational program «Biotechnology», Almaty, Kazakhstan, e-mail: [akerke.k0805@gmail.com](mailto:akerke.k0805@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0008-5255-1994>

**Tolkyn Bakytovna Abdigaliyeva\*** – PhD, Associate Professor of the Department of «Food Biotechnology», Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: [tolkyn\\_07.08@mail.ru](mailto:tolkyn_07.08@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1404-8852>.

Редакцияға енуі 08.07.2024

Өңдеуден кейін түсуі 04.09.2024

Жариялауға қабылданды 05.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-23](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-23)



MPHTI: 62.37.02

**З.Н. Темиржанова\*, К.С. Исаева**

Торайгыров университет,

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64

\*e-mail: [zukhra\\_94g@mail.ru](mailto:zukhra_94g@mail.ru)

## ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ НА БИОМАРКЕРЫ ДИАГНОСТИРУЮЩИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

**Аннотация:** *Функциональные продукты питания и их биологически активные соединения широко изучались как группа продуктов, имеющих большое значение для предотвращения развития хронических заболеваний. Сердечно-сосудистые заболевания является глобальной проблемой здравоохранения, которую можно облегчить с помощью функциональных пищевых продуктов. Снижения риска сердечно-сосудистых заболеваний может быть измерен с помощью специфических биомаркеров сердечно-сосудистых заболеваний, таких как липидный профиль, функция эндотелия, активация тромбоцитов, гемостаз и биомаркер воспаления. Некоторые функциональные биологически активные соединения могут играть важную роль в профилактике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний, благотворно влияя на уровни этих биомаркеров.*

*Целью данного исследования было изучить влияние функциональных продуктов на биомаркеры сердечно-сосудистых заболеваний, а также возможное улучшение показателей при приеме функциональной пищевой смеси.*

*Методы:* Поиск литературы для выявления статей проводился с использованием PubMed, Science Direct.

*Результаты* были проанализированы двадцать семь публикаций. Во всех этих публикациях сообщалось о положительном влиянии функциональных продуктов на биомаркер. Чаще всего отмечались положительные результаты от применения соевых продуктов, молочные продукты, гранат, клюквы и вегетарианские диеты и диета Окинава.

**Ключевые слова:** *сердечно-сосудистые заболевания, функциональные продукты питания, биомаркер, холестерин, липопротеин высокой плотности, соевые продукты, молочные продукты, гранат, клюква, диета Окинава, вегетарианская диета.*

## Введение

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смерти во всем мире. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно в результате инфарктов и инсультов умирают 17,1 млн. человек. Все чаще они диагностируются у молодых людей. Как установлено многочисленными исследованиями, ССЗ появляются в результате различных факторов риска, хотя некоторые из основных факторов риска не поддаются изменению, других факторов можно избежать путем изменения привычек и образа жизни. По прогнозам ВОЗ, к 2030 году около 25 миллионов человек будет умирать от ССЗ ежегодно. От ИБС и инсульта умирают 12 млн. человек каждый год. По данным ВОЗ, показатель смертности в РК по причине болезней системы кровообращения (БСК) почти в два раза выше, чем в европейских странах. За последние десять лет показатель заболеваемости БСК вырос в Казахстане в 1,7 раза. Казахстан находится на девятом месте рейтинга смертности от ИБС в СНГ. Практически каждый десятый казахстанец сегодня страдает ИБС, при этом среди умерших от нее - большая доля экономически активного населения в возрасте от 18 до 64 [1].

Постоянные исследования последних десятилетий показали, что определенные изменения в питании могут значительно снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний. Принятие сбалансированной диеты, такой как средиземноморская диета, тесно связано с профилактикой сердечно-сосудистых заболеваний. Выбор конкретных функциональных продуктов питания, обычных или обработанных, может быть альтернативным способом в рамках сбалансированной диеты предотвратить и контролировать заболеваемость сердечно-сосудистыми заболеваниями [2].

Функциональные продукты питания часто называют «натуральными продуктами для здоровья» или «здоровой пищей» [3]. Они не являются таблетками или порошками, но содержат или обогащены ингредиентами, полученными из натуральных материалов или модифицированными технологическими, или биотехнологическими средствами. Фактическое определение этих функциональных продуктов, предоставленное Центром функционального питания (ЦФП), выглядит следующим образом: «Натуральные или обработанные пищевые продукты, содержащие биологически активные соединения, которые в определенных, эффективных, нетоксичных количествах обеспечивают клинически доказанную и задокументированную пользу для здоровья с использованием определенных биомаркеров, чтобы укреплять оптимальное здоровье, снижать риск хронических/вирусных заболеваний и управлять их симптомами» [4].

Функциональные продукты питания – это обычные или обогащенные и обогащенные продукты питания, которые благодаря физиологически активным пищевым компонентам приносят пользу для здоровья, выходящую за пределы основного питания, имея потенциально благотворное воздействие на здоровье при регулярном употреблении в составе разнообразного рациона в эффективных количествах. Принятие диеты, богатой различными функциональными продуктами, такими как фрукты и овощи (дикая зелень, соя, гранат, клюква, чеснок, помидоры, виноград и т. д.), цельно зерновые продукты, льняное семя, орехи, рыба, оливковое масло, напитки (чай и экстракты ароматических растений, красное вино) и обогащенные продукты (витамины, минералы и антиоксиданты) могут играть важную роль в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний [5].

Самые последние научные исследования показали тесную корреляцию заболеваемости сердечно-сосудистыми заболеваниями со специфическими биомаркерами, связанными с воспалением, тромбозом, образованием бляшек и т.д. Понимание влияния различных биологически активных соединений и функциональных пищевых продуктов на эти биомаркеры имеет большое значение с целью предотвращения и лечения острых сердечно-сосудистых заболеваний [6].

В медицине биомаркер определяется как показатель определенного заболевания или определенного состояния организма. В частности, биомаркер – это характеристика, которая объективно измеряется и оценивается как показатель нормальных биологических процессов, патогенных процессов или фармакологических реакций на терапевтическое вмешательство [7].

Возможности идентификации молекулярных биомаркеров были значительно расширены благодаря технологиям «омикс». Они могут раскрыть огромные объемы информации, хранящейся в генах человека (геномика); их продуктах, таких как экспрессируемая РНК (транскриптомика) и транслируемые белки (протеомика); а также

множество небольших молекул, участвующих в метаболических процессах (метабономика). В настоящее время эти подходы применяются для понимания роли микробиома кишечника в развитии заболеваний человека с использованием геномного анализа видов микроорганизмов, полученных на "гуманизированных" моделях животных и образцах пациентов [8]. Например, имеются некоторые доказательства того, что аномальное развитие состава кишечной микробиоты предшествует увеличению веса/ожирению [9], что открывает новые возможности для профилактического и терапевтического применения в управлении весом [10].

Новые биомаркеры, такие, как ST2 и галектин-3, постепенно находят свое место в клинической практике и вошли в клинические рекомендации по ведению пациентов с сердечной недостаточностью Американского колледжа кардиологов [11].

Из биомаркеров, образующихся при образовании бляшек, наиболее изученным является С-реактивный белок (СРБ), который считается мощным биомаркером воспаления, предсказывающим такие заболевания, как инфаркт миокарда, заболевания периферических артерий и внезапную сердечную смерть. У здоровых людей хронически повышенные уровни СРБ предсказывают будущий метаболический синдром и сердечно-сосудистые заболевания, такие как инсульт, заболевание периферических артерий и инфаркт миокарда [12]. Высокий уровень биомаркеров тромбоза, такие как фибриноген, IL-6, Hs-CRP, D-димер, липопротеин а (Lp(a)), активатор плазминогена тканевого типа (t-PA) и фактор фон Виллебранда (vWf), напрямую коррелируют с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Фибриноген, гликопротеин, вырабатываемый в печени, является независимым биомаркером тромбоза. Во Фрамингемском исследовании было выявлено, что повышенный уровень фибриногена тесно коррелирует с группами высокого риска прогнозирования ишемической болезни сердца у обоих полов [13, 14]. В качестве диагностических маркеров некроза чаще всего используют тропонин и КК-МВ. Повышенные уровни тропонина и СК-МВ сочетаются с высокой степенью нарушения и вторичные нарушения соответственно [15]. Оксид азота (NO), простациклин и фактор ГПФЭ (гиперполяризующий фактор эндотелия), секретируемый эндотелием, отвечают за поддержание физиологической эластичности артерий. Все эти биомаркеры играют решающую роль в поддержании сосудистого тонуса и артериального давления [16].

### **Методы исследования**

Систематический обзор был проведен в соответствии с предпочтительными статьями отчетности для систематических обзоров и метаанализов.

После проведения предварительного поиска с целью определения ключевых слов и рубрик медицинской тематики был проведен систематический поиск в PubMed (Medline и не-Medline), Science Direct.

Был составлен Центральный реестр баз данных контролируемых исследований для выявления соответствующих первичных научных публикаций. Стратегия поиска была основана на деликатности и не включала термины, относящиеся к параметрам сравнения или результатам, с тем чтобы обеспечить возможность поиска большего числа публикаций.

В исследовании пользовались публикациями с 2019 года по 2023 года, для поиска в базах данных с фильтрами по рандомизированным контрольным испытаниям, исследованиям.

Результаты поиска сначала проверялись по названию и аннотации, а затем по полному тексту на предмет тех, которые не были исключены. Для выявления дополнительных публикаций были проанализированы справочные разделы публикаций, которые соответствовали всем критериям включения и исключения.

Данные были получены двумя исследователями независимо друг от друга и включали цель исследования, характеристики популяции (например, пол, возраст, результаты исследования).

Систематический обзор 24 публикаций, описывающих рандомизированные контролируемые исследования, показал, что существуют достоверные доказательства того, что прием функциональных продуктов улучшает метаболические и воспалительные биомаркеры, связанные с ССЗ.

Наиболее перспективными оказались методы лечения ССЗ с функциональным пищевым продуктом в снижении показателей гиперхолестеринемии, воспаления и эндотелиальной дисфункции, вызванных диетой с высоким содержанием холестерина. Это

исследование было направлено на изучение влияния диеты с высоким содержанием холестерина на липидный профиль, биомаркеры сердечной, воспалительной и эндотелиальной дисфункции, а также на возможное улучшение с помощью функциональных пищевых смесей [17].

### **Результаты исследований**

Был проведен поиск по базам данных, в результате которого было найдено 513 публикаций. После удаления дубликатов осталось 170 публикаций, которые были отобраны по названию и аннотации. Из этих 170 публикаций 106 были исключены за несоответствие теме. После этих исключений полный текст 55 публикаций был оценен на предмет соответствия требованиям, плюс еще четыре публикации, которые были определены с помощью ссылок; таким образом, в общей сложности 59 полнотекстовых публикаций были оценены на предмет соответствия требованиям. Из этих 59 публикаций 32 были исключены за несоответствие теме. Таким образом, осталось 24 публикации, которые соответствовали критериям включения и в конечном итоге были проанализированы и оценены на основе контрольного списка критериев качества.

Эпидемиологические и клинические исследования показывают, что риск сердечно-сосудистых заболеваний снижается за счет диеты, богатой фруктами, овощами, нерафинированными злаками, рыбой и нежирными молочными продуктами, а также с низким содержанием насыщенных жиров и натрия [18]. Было показано, что другие продукты, такие как моно- и полиненасыщенные жиры, отруби, орехи, растительные стеролы и соевые белки, оказывают благоприятное влияние на липидный профиль и кровяное давление [19, 20].

#### *Соя и соевые продукты*

Харланд и др. (2008) провели обзор, посвященный пациентам с умеренной гиперхолестеринемией. В этом исследовании было показано, что потребление примерно 25 г соевого белка привело к значительному снижению общего количества уровень холестерина и липопротеин высокой плотности (ЛПНП) [21].

Мухаммед Салим и др. разработали функционального йогурта с использованием сублимационной сушки порошков из сои и кожуры бобов маш. В ходе этого исследования было выявлено, что йогурты с добавками SPP и MPP являются наиболее подходящими с точки зрения вкуса, внешнего вида, массы/консистенции и общей приемлемости, что свидетельствует о том, что кожура сои и бобов мунг может использоваться в пищевой промышленности в качестве основы для биологически активных компонентов йогурта после сублимационной сушки [22].

#### *Молочные продукты*

Исследования показали, что употребление обезжиренного молока или йогурта может снизить уровень холестерина в плазме крови. В ходе клинического исследования, в ходе которого подростки потребляли 2 литра обезжиренного молока в день в течение трех недель, уровень холестерина в плазме крови снизился по сравнению с цельным молоком или йогуртом на 8%.

В краткосрочном исследовании на пациентах с нормохолестеринемией ежедневное употребление 200 мл йогуртоподобного продукта, ферментированного *E. faecium* и *S. thermophilus*, снизило уровень холестерина ЛПНП на 10%. Продукты с пробиотиками, такие, как йогурты или кисломолочные продукты, могут способствовать улучшению биомаркеров сердечно-сосудистых заболеваний.

#### *Гранат и клюква*

Исследования показали, что потребление ГС снижает кровяное давление и уровень триглицеридов, а также повышает уровень холестерина ЛПВП. Следовательно, ГС может способствовать замедлению атеросклеротического процесса и снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, было обнаружено, что пуниновая кислота, которая является основным компонентом масла косточек граната, ингибирует образование простагландинов [26].

Исследования показали, что употребление клюквы может ослабить атеросклеротический процесс в артериях и снизить уровень холестерина ЛПНП, снижая риск сердечно-сосудистых заболеваний. Исследования на животных показывают, что клюквенный сок снижает уровень ЛПНП и повышает уровень холестерина ЛПВП.

### *Структура питания и сердечно-сосудистые заболевания*

В последние годы были рекомендованы различные схемы питания для изменения многих показателей здоровья, помимо обычных рекомендаций по питанию. Например, Средиземноморье, диетические подходы к борьбе с гипертензией (ДПБГ), Окинава и вегетарианские диеты пропагандируются как здоровый вариант. Средиземноморская диета набирает обороты, и различные отчеты показывают низкую частоту ССЗ среди населения, употребляющего эту диету. Растительные продукты и оливковое масло содержат большое количество антиоксидантов, которые способствуют здоровью сосудистой системы. Диета ДПБГ ограничивает потребление насыщенных жиров, красного мяса, сладостей и напитков с содержанием сахара. Регулярные физические упражнения, высокое потребление калия с пищей, умеренное потребление алкоголя и низкое потребление соли представляют собой основанные на доказательствах подходы к снижению артериального давления с помощью диеты ДПБГ. Диета Окинава предусматривает ограничение калорийности, высокое потребление овощей и бобовых, умеренное потребление морепродуктов и алкоголя, а также низкое потребление мяса и молочных продуктов. Это полезно для здоровья сердечно-сосудистой системы, потому что диета Окинава богата питательными веществами, антиоксидантами и имеет низкую гликемическую нагрузку. Вегетарианская диета исключает мясо, птицу или рыбу и может включать или не включать молочные продукты и яйца. Вегетарианская диета известна своими полезными для здоровья веществами, поскольку она богата пищевыми волокнами, антиоксидантами, биоактивными соединениями, растительным белком и менее насыщена, чем невегетарианская диета.

### **Обсуждение научных результатов**

Как упоминалось выше, распространенность болезни ССЗ достигает масштабов эпидемии, и поскольку поддержание здоровых привычек питания по-прежнему является предметом клинических исследований в области питания, в этом исследовании изучалось влияние определенных функциональных продуктов питания на биомаркеры ССЗ.

Благотворное действие фруктов подтверждается исследованиями, о котором полезного кардиопротекторного действия фруктов, ягод [18], граната и клюквы. Также существует статистически значимая корреляция между потреблением йогурта. Снижение и увеличение уровня холестерина ЛПНП, значительное влияние n-3 жирных кислот на липидный профиль и биомаркеры воспаления которое упоминается в литературе.

Все больше данных свидетельствует о том, что потребление ягод играет важную роль в предотвращении и лечении основных факторов риска, связанных с метаболическим синдромом и его сердечно-сосудистыми проблемами у человека. Эти действия могут быть обусловлены содержанием таких полифенолов, как антоцианидины, проантоцианидины, флаванолы и фенольные кислоты, которые обладают антиоксидантным и противовоспалительным действием [20].

Текущее предположение указывает на то, что диета, богатая ягодами, может снизить риск тяжелых заболеваний. Употребление большого количества ягод улучшает гликемическую реакцию после приема пищи, снижает уровень биомаркеров воспаления в крови и повышает антиоксидантную способность крови. Длительное употребление ягод и продуктов из них может улучшить липидный профиль сыворотки крови, уменьшить длительное воспаление и поддержать здоровье сердечно-сосудистой системы, особенно у людей с исходным метаболическим профилем повышенного риска развития метаболического синдрома [26].

Острая необходимость изменить сложившуюся ситуацию обусловила повышенный интерес к разработке функциональных пищевых продуктов (ФПП), которые в настоящее время рассматриваются как новое перспективное направление в питании современного человека.

Необходимы дальнейшие исследования, особенно клинические и проспективные, для подтверждения возможного положительного эффекта фитохимических веществ, таких как флавоноиды, эфирные масла ароматических растений и биоактивные пептиды молока и бобовых.

### **Заключение**

Возникшие изменения в питании населения и распространение болезни ССЗ вызвали необходимость разработки и внедрения в практику функциональных пищевых продуктов. В

результате исследования среди наиболее перспективных функциональных пищевых продуктов по своему составу и уникальным свойствам для использования являются соя. Целью дальнейшего исследования является разработка функциональный пищевой продукт с соевым кожурой для профилактики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний, а также исследовать влияние функциональных продуктов на биомаркеры ССЗ.

### Список литературы

1. Бекбергенова Ж.Б. Руководство для медицинских сестер расширенной практики по оценке риска и профилактике сердечно-сосудистых заболеваний / Ж.Б. Бекбергенова, А.Т. Умбетжанова. – Нур-Султан: Республиканский центр развития здравоохранения, 2019. – 72 с.
2. Hajjo R. Unlocking the Potential of the Human Microbiome for Identifying Disease Diagnostic Biomarkers / R. Hajjo, D.A. Sabbah, A.Q.Al Bawab // *Diagnostics*. – 2022. – № 12(7). – P. 1742. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12071742>.
3. Konstantinidi M. Functional Foods and Bioactive Compounds: A Review of Its Possible Role on Weight Management and Obesity's Metabolic Consequences. / M. Konstantinidi, E.A. Koutelidakis // *Medicines (Basel)*. – 2019. – № 6(3)94. <https://doi:10.3390/medicines6030094>.
4. Halford J.C.G. Satiety-enhancing products for appetite control: science and regulation of functional foods for weight management / J.C.G. Halford, J.A. Harrold // Published online by Cambridge University Press. – 2012. <http://doi:10.1017/S0029665112000134>.
5. Antonios E.K. The effects of functional food and bioactive compounds on biomarkers of cardiovascular diseases / E.K. Antonios // *Functional Foods Textbook*. Martirosyan D. (Ed.). Functional Food Center, U.S.A. 1st Edition. – P. 89-117.
6. Kutelidakis A.E. The effect of functional foods and biologically active compounds on biomarkers of cardiovascular diseases / A.E. Kutelidakis // *Center for Functional Nutrition, USA, 1st edition*. – P. 89-117.
7. Gut health: predictive biomarkers for preventive medicine and development of functional foods / R. Oozer et al // Published online by Cambridge University Press. – 2010. <http://doi:10.1017/S0007114509993400>.
8. Bjursell M.K. Gordon Functional genomic and metabolic studies of the adaptations of a prominent adult human gut symbiont, *Bacteroides thetaiotaomicron*, to the suckling period / M.K. Bjursell, E.C. Martens, J.I. Gordon // *J Biol Chem*. – 2006. – № 281(47). <http://doi:10.1074/jbc.M606509200>.
9. Early differences in fecal microbiota composition in children may predict overweight / K.M. Collado et al // *Am J Clin Nutr*. – 2008. – № 87. – P. 534-538.
10. Obesity alters gut microbial ecology / R.E. Ley et al // *Proc Natl Acad Sci USA*. – 2008. – № 102. – P. 11070-11075.
11. A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Failure Society of America / C.W. Yancy et al // *Circulation*. – 2017. – № 136(6). – P. e137–61. <http://doi:10.1161/CIR.0000000000000509>.
12. Jackson S.E. Personalized cancer medicine / S.E. Jackson, D.D. Chester // *Int J Cancer*. – 2015. – № 137(2). – P. 262-6. <https://doi.org/10.1002/ijc.28940>.
13. van Vollenhoven R.F. Personalized medicine in rheumatology / R.F. van Vollenhoven, M. L'ami, G. Wolbink // *The Psychiatrist is a psychiatrist*. – 2018. – № 60(3). – P. 146-50.
14. Narod S.A. Personalized medicine and public health: breast and ovarian cancer / S.A. Narod // *Hum Genet*. – 2018. – № 137(10). – P. 769-778. <https://doi.org/10.1007/s00439-018-1944-6>.
15. Changes in the human intestinal microbiome in cirrhosis of the liver / N. Qin et al // *Nature*. – 2014. – № 513(7516). – P. 59-64. <https://doi.org/10.1038/nature13568>.
16. Multiplex protein platforms based on antibodies: technical and operational problems / A.A. Ellington et al // *Clinical Chemistry*. – 2010. – № 56(2). – P. 186-193. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2009.127514>.
17. Al-Muzafar H.M. Efficacy of functional foods mixture in improving hypercholesterolemia, inflammatory and endothelial dysfunction biomarkers-induced by high cholesterol diet / H.M. Al-Muzafar, K.A. Amin // *Lipids in Health and Disease*. – 2017. – Vol. 16, № 194. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0585-4>.
18. The effect of an intensive lifestyle change program on the thickness of the intima media of the carotid artery: a randomized study / S.G. Aldana et al // *American Journal of Health Promotion*. – 2007. – Vol. 21, № 6. – P. 510-516.

19. Reddy K.S. Diet, proper nutrition and prevention of hypertension and cardiovascular diseases / K.S. Reddy, M.B. Katan // *Nutrition for public health.* – 2004. – Vol. 7, № 1. – P. 167-186. <https://doi.org/10.1079/PHN2003587>.
20. Consumption of whole grains, bran and germ and the risk of coronary heart disease in men / M.K. Jensen et al // *American Journal of Clinical Nutrition.* –2004. – Vol. 80, № 6. – P. 1492-1499.
21. Gee H. A systematic review, meta-analysis and reanalysis of the results of randomized controlled trials that report an association between the consumption of about 25 g of soy protein per day and blood cholesterol levels / H. Gee, H. TA // *Atherosclerosis.* – 2008. – № 200(1). – P. 13-27.
22. Development of functional yogurt using freeze-drying on powders from soy peel and mung beans / M. Salim et al // *Before. Support. The food system.* – 2023. – № 7. – P. 1083389. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1083389>.

### References

1. Bekbergenova ZH.B. Rukovodstvo dlya meditsinskikh sester rasshirennoi praktiki po otsenke riska i profilaktike serdechno-sosudistykh zabolevanii / ZH.B. Bekbergenova, A.T. Umbetzhanova. – Nur-Sultan: Respublikanskii tsentr razvitiya zdravookhraneniya, 2019. – 72 s. (In Russian).
2. Hajjo R. Unlocking the Potential of the Human Microbiome for Identifying Disease Diagnostic Biomarkers / R. Hajjo, D.A. Sabbah, A.Q.Al Bawab // *Diagnostics.* – 2022. – № 12(7). – R. 1742. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12071742>. (In English).
3. Konstantinidi M. Functional Foods and Bioactive Compounds: A Review of Its Possible Role on Weight Management and Obesity's Metabolic Consequences. / M. Konstantinidi, E.A. Koutelidakis // *Medicines (Basel).* – 2019. – № 6(3)94. <https://doi:10.3390/medicines6030094>. (In English).
4. Halford J.C.G. Satiety-enhancing products for appetite control: science and regulation of functional foods for weight management / J.C.G. Halford, J.A. Harrold // Published online by Cambridge University Press. – 2012. <http://doi:10.1017/S0029665112000134>. (In English).
5. Antonios E.K. The effects of functional food and bioactive compounds on biomarkers of cardiovascular diseases / E.K. Antonios // *Functional Foods Textbook.* Martirosyan D. (Ed.). Functional Food Center, U.S.A. 1st Edition. – R. 89-117. (In English).
6. Koutelidakis A.E. The effect of functional foods and biologically active compounds on biomarkers of cardiovascular diseases / A.E. Koutelidakis // *Center for Functional Nutrition, USA, 1st edition.* – R. 89-117. (In English).
7. Gut health: predictive biomarkers for preventive medicine and development of functional foods / R. Oozeer et al // Published online by Cambridge University Press. – 2010. <http://doi:10.1017/S0007114509993400>. (In English).
8. Bjursell M.K. Gordon Functional genomic and metabolic studies of the adaptations of a prominent adult human gut symbiont, *Bacteroides thetaiotaomicron*, to the suckling period / M.K. Bjursell, E.C. Martens, J.I. Gordon // *J Biol Chem.* – 2006. – № 281(47). <http://doi:10.1074/jbc.M606509200>. (In English).
9. Early differences in fecal microbiota composition in children may predict overweight / K.M. Collado et al // *Am J Clin Nutr.* – 2008. – № 87. – R. 534-538. (In English).
10. Obesity alters gut microbial ecology / R.E. Ley et al // *Proc Natl Acad Sci USA.* – 2008. – № 102. – R. 11070-11075. (In English).
11. A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Failure Society of America / C.W. Yancy et al // *Circulation.* – 2017. – № 136(6). – R. e137–61. <http://doi:10.1161/CIR.0000000000000509>. (In English).
12. Jackson S.E. Personalized cancer medicine / S.E. Jackson, D.D. Chester // *Int J Cancer.* – 2015. – № 137(2). – R. 262-6. <https://doi.org/10.1002/ijc.28940>. (In English).
13. van Vollenhoven R.F. Personalized medicine in rheumatology / R.F. van Vollenhoven, M. L'ami, G. Wolbink // *The Psychiatrist is a psychiatrist.* – 2018. – № 60(3). – R. 146-50. (In English).
14. Narod S.A. Personalized medicine and public health: breast and ovarian cancer / S.A. Narod // *Hum Genet.* – 2018. – № 137(10). – R. 769-778. <https://doi.org/10.1007/s00439-018-1944-6>. (In English).
15. Changes in the human intestinal microbiome in cirrhosis of the liver / N. Qin et al // *Nature.* – 2014. – № 513(7516). – R. 59-64. <https://doi.org/10.1038/nature13568>. (In English).



16. Multiplex protein platforms based on antibodies: technical and operational problems / A.A. Ellington et al // *Clinical Chemistry*. – 2010. – № 56(2). – R. 186-193. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2009.127514>. (In English).
17. Al-Muzafar H.M. Efficacy of functional foods mixture in improving hypercholesterolemia, inflammatory and endothelial dysfunction biomarkers-induced by high cholesterol diet / H.M. Al-Muzafar, K.A. Amin // *Lipids in Health and Disease*. – 2017. – Vol. 16, № 194. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0585-4>. (In English).
18. The effect of an intensive lifestyle change program on the thickness of the intima media of the carotid artery: a randomized study / S.G. Aldana et al // *American Journal of Health Promotion*. – 2007. – Vol. 21, № 6. – R. 510-516. (In English).
19. Reddy K.S. Diet, proper nutrition and prevention of hypertension and cardiovascular diseases / K.S. Reddy, M.B. Katan // *Nutrition for public health*. – 2004. – Vol. 7, № 1. – R. 167-186. <https://doi.org/10.1079/PHN2003587>. (In English).
20. Consumption of whole grains, bran and germ and the risk of coronary heart disease in men / M.K. Jensen et al // *American Journal of Clinical Nutrition*. – 2004. – Vol. 80, № 6. – R. 1492-1499. (In English).
21. Gee H. A systematic review, meta-analysis and reanalysis of the results of randomized controlled trials that report an association between the consumption of about 25 g of soy protein per day and blood cholesterol levels / H. Gee, H. TA // *Atherosclerosis*. – 2008. – № 200(1). – R. 13-27. (In English).
22. Development of functional yogurt using freeze-drying on powders from soy peel and mung beans / M. Salim et al // *Before. Support. The food system*. – 2023. – № 7. – R. 1083389. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1083389>. (In English).

**З.Н. Темиржанова\*, К.С. Исаева**

<sup>1</sup>Торайғыров университеті,

140008, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломова к-сі, 64

\*e-mail: [zukhra\\_94g@mail.ru](mailto:zukhra_94g@mail.ru)

### **ЖҮРЕК-ҚАН ТАМЫРЛАРЫ АУРУЛАРЫН ДИАГНОСТИКАЛАЙТЫН БИОМАРКЕРЛЕРГЕ ФУНКЦИОНАЛДЫ ӨНІМДЕРДІҢ ӘСЕРІ**

*Функционалды тағамдар және олардың биоактивті қосылыстары созылмалы аурулардың дамуын болдырмауда үлкен маңызы бар тағамдар тобы ретінде кеңінен зерттелді. Жүрек-қан тамырлары аурулары денсаулық сақтаудың жаһандық проблемасы болып табылады, оны функционалды тағаммен жеңілдетуге болады. Жүрек-қан тамырлары ауруларының қаупін азайту липидті профиль, эндотелий функциясы, тромбоциттердің белсендірілуі, гемостаз және қабыну биомаркерлері сияқты жүрек-қан тамырлары ауруларының арнайы биомаркерлерімен өлшенуі мүмкін. Кейбір функционалды биоактивті қосылыстар жүрек-қан тамырлары ауруларының алдын алу мен емдеуде маңызды рөл атқаруы мүмкін, бұл биомаркерлердің деңгейіне пайдалы әсер етеді.*

*Бұл зерттеудің мақсаты функционалды өнімдердің жүрек-қан тамырлары ауруларының биомаркерлеріне әсерін, сондай-ақ функционалды тамақ қоспасын қабылдау кезінде көрсеткіштердің жақсаруын зерттеу болды.*

*Әдістері: мақалаларды анықтау үшін әдебиеттерді іздеу PubMed, Science Direct көмегімен жүргізілді.*

*Нәтижелер жиырма жеті басылымға талдау жасалды. Осы басылымдардың барлығында функционалды өнімдердің биомаркерлерге оң әсері туралы хабарланды. Көбінесе соя өнімдерін қолданудың оң нәтижелері байқалды, сүт өнімдері, Анар, мүкжидек және вегетариандық диеталар және Окинава диетасы.*

**Түйін сөздер:** жүрек-қан тамырлары аурулары, функционалды тағамдар, биомаркерлер, холестерин, жоғары тығыздықтағы липопротеин, соя өнімдері, сүт өнімдері, Анар, мүкжидек, Окинава диетасы, вегетариандық диета.

**Z.N. Temirzhanova\*, K.S. Isaeva**

<sup>1</sup>Toraigyrov University,

140008, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, st. Lomova, 64

\*e-mail: [zukhra\\_94g@mail.ru](mailto:zukhra_94g@mail.ru)

### **THE EFFECT OF FUNCTIONAL PRODUCTS ON BIOMARKERS DIAGNOSING CARDIOVASCULAR DISEASES**

*Functional foods and their biologically active compounds have been widely studied as a group of foods of great importance for preventing the development of chronic diseases. Cardiovascular disease is a global health problem that can be alleviated with functional foods. The reduction in the risk of cardiovascular disease can be measured using specific biomarkers of cardiovascular disease, such as lipid profile, endothelial function, platelet activation, hemostasis and biomarkers of inflammation. Some functional biologically active compounds may play an important role in the prevention and treatment of cardiovascular diseases, beneficially affecting the levels of these biomarkers.*

*The purpose of this study was to study the effect of functional foods on biomarkers of cardiovascular diseases, as well as the possible improvement of indicators when taking a functional food mixture.*

*Methods: A literature search to identify articles was conducted using PubMed, Science Direct.*

*The results were analyzed in twenty-seven publications. In all these publications, the positive effect of functional products on biomarkers has been reported. Most often, positive results were noted from the use of soy products, dairy products, pomegranates, cranberries and vegetarian diets and the Okinawa diet.*

**Key words:** cardiovascular diseases, functional foods, biomarkers, cholesterol, high-density lipoprotein, soy products, dairy products, pomegranate, cranberries, Okinawa diet, vegetarian diet.

#### **Сведения об авторах**

**Зухра Нуржановна Темиржанова\*** – магистр технических наук, докторант; Торайгыров Университет, Республика Казахстан; zukhra\_94g@mail.ru.

**Куралай Сметкановна Исаева** – кандидат технических наук, ассоц. профессор; Торайгыров Университет, Республика Казахстан; issayevakuralay@mail.ru.

#### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Зухра Нұржановна Темиржанова\*** – техника ғылымдарының магистрі, докторант; Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы; zukhra\_94g@mail.ru.

**Куралай Сметкановна Исаева** – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдаст. профессор; Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы; zukhra\_94g@mail.ru.

#### **Information about the authors**

**Zukhra Nurzhanovna Temirzhanova\*** – Master of Technical Sciences, doctoral student ; Specialist of the Center for Commercialization and Innovation; Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan; zukhra\_94g@mail.ru.

**Kuralai Smetkanovna Isaeva** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Toraigyrov University, Republic of Kazakhstan; issayevakuralay@mail.ru.

*Поступила в редакцию 22.05.2024*

*Поступила после доработки 05.08.2024*

*Принята к публикации 06.09.2024*

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-24](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-24)

МРНТИ: 65.01.37



**Б.К. Булашев\*, С.Г. Каманова, И.Ж. Темирова, А.К. Игенбаев, Г.Х. Оспанкулова**  
Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,  
010000, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Жәніс 62  
\*e-mail: berdibek\_aruzhan@mail.ru

### **АНАЛИЗ ОТРАСЛЕВЫХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

**Аннотация:** Для обеспечения экономической безопасности страны необходимо обеспечить безопасное производство и переработку пищевых продуктов. В данной статье отражен анализ опасностей и критических контрольных точек (НАССР), а также анализ Системы менеджмента безопасности пищевой продукции на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000. Системы обеспечения безопасности и качества пищевых продуктов являются необходимыми для снижения рисков и гарантии соответствия самым строгим стандартам.

*НАССР играет важную роль в системе управления безопасностью пищевой продукции, основанной на стандартах ISO 22000/ISO 22000 в РК, помогая компаниям идентифицировать, оценивать и управлять опасностями, связанными с пищевыми продуктами, в процессе их производства, обработки и распространения. Анализ существующих систем производства пищевых продуктов позволит выявить возможности для разработки более эффективных и всеобъемлющих систем обеспечения безопасности и качества пищевых продуктов. Эти усовершенствованные системы будут иметь жизненно важное значение для удовлетворения растущих потребностей и ожиданий потребителей, а также для обеспечения безопасной и качественной пищевой продукции для будущих поколений. Внедряя на предприятиях НАССР и СМБПП на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000, производители пищевых продуктов могут повысить безопасность и качество своей продукции.*

**Ключевые слова:** *пищевая безопасность, пищевые продукты, система безопасности, НАССР, система менеджмента.*

## **Введение**

Обеспечение безопасности и качества пищевых продуктов имеет первостепенное значение для здоровья населения и роста экономики. Комплексные системы обеспечения безопасности и качества пищевых продуктов играют решающую роль в минимизации рисков и гарантии соответствия продукции самым высоким стандартам.

Анализ опасностей и критических контрольных точек (Hazard analysis and critical control points (НАССР)) направлен на мониторинг всего производственного потока с целью получения безопасного продукта в соответствии с применимыми стандартами [1, 2]. Преимуществом внедрения этой системы управления безопасностью пищевых продуктов является как достижение более высокого качества продукции, так и снижение передачи заболеваний через продукты питания [3].

В 1970-х годах НАССР впервые использовался в производстве продуктов питания для обеспечения точного контроля на каждом этапе процесса производства. Комиссия кодекса Алиментариус признала НАССР эффективным средством улучшения стандартов безопасности, поскольку он позволяет определить приоритетные опасности и создать системы контроля, фокусируясь на превентивных мерах, а не на тестировании готового продукта [4,5].

В системе НАССР управление безопасностью пищевых продуктов может быть привязано к конкретному процессу или продукту и в большей степени ориентировано на безопасность, чем на качество, что требует определенного уровня знаний [6].

Система НАССР применяется на всех этапах пищевой цепочки, от предварительного приготовления пищи до производственных процессов, включая сырье, производство, упаковку, хранение и т.д. Многие органы регулирования пищевых продуктов требуют обязательного применения специальных программ НАССР для пищевых продуктов, таких как мясо, соки, молочные продукты, детское питание, морепродукты, консервы и т.д., с целью обеспечения безопасности пищевых продуктов для защиты здоровья населения и предотвращения вспышек болезней пищевого происхождения [7,8]. Руководство по НАССР и безопасности пищевых продуктов, опубликованное ФАО (Производственная и сельскохозяйственная организация Объединённых наций) и ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения), предназначено для всех правительств и предприятий пищевой промышленности с целью обеспечения безопасности на производстве, в том числе на малых и развивающихся предприятиях [9,10]. Внедрение системы НАССР предполагает непрерывное ведение учета, мониторинг, корректирующие действия и все мероприятия, предусмотренные планом НАССР [11].

В данных исследованиях проанализирован ряд отраслевых систем производства пищевых продуктов, которые вносят значительный вклад в безопасность и качество пищевых продуктов. Эти системы включают НАССР, Систему менеджмента безопасности пищевой продукции на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000 и другие, описания и анализ приведены в таблицах 1-2.

В таблице 1 приведены данные анализа рисков и контрольных точек НАССР.

Таблица 1 – Анализ рисков и критических контрольных точек HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points)

Определение	Цель	Основные аспекты (разделы)	Отличительные особенности	Преимущества (сильные стороны)	Недостатки (слабые стороны)
Концепция, предусматривающая систематическую идентификацию, оценку и управление опасными факторами, существенно влияющими на безопасность продукции	Содействовать производителям пищевых продуктов выявлять и контролировать риски безопасности пищевых продуктов, что приводит к снижению вероятности возникновения пищевых отравлений и других заболеваний пищевого происхождения	- анализ рисков; критические контрольные точки; -пределные значения; - мониторинг; корректирующие действия; - ведение записей; -постоянное совершенствование	В отличие от традиционных подходов к безопасности пищевых продуктов, которые часто сосредоточены на тестировании готовой продукции, HACCP обеспечивает более комплексный и превентивный подход, выявляя и контролируя риски на всех этапах производства и оборота пищевых продуктов. Система HACCP, в отличие от других систем и практик, имеет конкретные практические шаги (этапы) разработки: 1. Формирование рабочей группы HACCP; 2. Описание сырья и готовой продукции; 3. Определение области применения; 4. Описание технологических процессов производства блок-схемы; 5. Подтверждение блок-схемы технологического процесса непосредственно на объекте; 6. Принцип 1 – Анализ опасностей; 7. Принцип 2 – Определение критических контрольных точек (ККТ); 8. Принцип 3 – Установление критических пределов для каждой ККТ; 9. Принцип 4 – Установление систем мониторинга для каждой ККТ; 10. Принцип 5 – Установление корректирующих действий; 11. Принцип 6 – Установление процедур проверки (верификации); 12. Принцип 7 – Создание документации и ведение учета (записи)	-проактивный подход; -систематический подход; -обеспечение безопасности и повышение качества пищевых продуктов; -соблюдение нормативных требований; -повышение доверия потребителей; -улучшение эффективности производства; -снижение или полное исключение затрат на отзыв продукции	-зависимость от точности анализа рисков; -необходимость постоянной бдительности; -потенциальная бюрократия; -ограничения в выявлении новых рисков; -потенциальная ложная уверенность; -возможность обхода системы

В результате проведенного анализа приведенного в таблице 1 можно сделать следующий вывод, что система HACCP имеет решающее значение для пищевой промышленности, обеспечивая комплексный и превентивный подход к обеспечению безопасности пищевых продуктов:

- HACCP помогает выявлять и контролировать риски для безопасности пищевых продуктов на всех этапах производства и оборота, снижая вероятность возникновения пищевых отравлений и других заболеваний пищевого происхождения;
- основанный на научных доказательствах подход HACCP гарантирует эффективность мер контроля в обеспечении безопасности пищевых продуктов;
- проактивный характер HACCP позволяет предотвращать риски, а не реагировать на них, что приводит к повышению безопасности пищевых продуктов;
- HACCP способствует повышению доверия потребителей к пищевым продуктам, демонстрируя приверженность производителей к безопасности продукции;
- внедрение HACCP может привести к снижению затрат на отзыв продукции, улучшению эффективности производства и повышению конкурентоспособности на рынке;
- HACCP отвечает требованиям надзорных и контрольных органов и стандартов по всему миру, что делает его важным инструментом для соответствия нормативным требованиям.

В целом, внедрение системы HACCP является неотъемлемой частью обеспечения безопасности пищевых продуктов, защиты здоровья потребителей и поддержания доверия к пищевой промышленности.

Далее изучалась система менеджмента безопасности пищевой продукции (СМБПП) на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000 (табл. 2). Согласно анализу, приведенному в таблице 2 СМБПП на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000 подчеркивает важность интерактивного обмена информацией между организациями в цепочке поставок пищевых продуктов. Это помогает организациям выявлять и контролировать риски безопасности пищевых продуктов на всех этапах производства, переработки и распределения пищевых продуктов.

Программы предварительных условий (ППУ) являются основой СМБПП на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000. ППУ устанавливают санитарные и эксплуатационные условия, необходимые для безопасного производства и переработки сельскохозяйственного сырья.

HACCP является ключевым компонентом СМБПП на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000. HACCP помогает организациям выявлять, оценивать и контролировать опасности, связанные с пищевыми продуктами, которые могут возникнуть во время производства, переработки и распределения пищевых продуктов.

Таблица 2 – Описание и анализ Системы менеджмента безопасности пищевой продукции на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000

Определение	Цель	Основные аспекты (разделы)	Отличительные особенности	Преимущества (сильные стороны)	Недостатки (слабые стороны)
Совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих элементов, используемых организацией для управления безопасностью пищевых продуктов и обеспечения того, что продукты соответствуют требованиям потребителей и применимым нормативным требованиям	Обеспечить безопасность пищевых продуктов, соответствие нормативным требованиям, повысить доверие потребителей, улучшить эффективность организации, защитить ее репутацию и способствовать инновациям в области безопасности пищевых продуктов	-ответственность руководства; -политика в области безопасности пищевых продуктов; -планирование системы менеджмента безопасности пищевых продуктов; -реализация системы менеджмента безопасности пищевых продуктов; -проверка системы менеджмента безопасности пищевых продуктов; -анализ системы менеджмента безопасности пищевых продуктов; -улучшение системы менеджмента безопасности пищевых продуктов	Стандарт СТ РК ISO 22000/ISO 22000 устанавливает требования к системе менеджмента безопасности пищевых продуктов, которая включает следующие основные признанные элементы, обеспечивающие пищевую безопасность по всей цепи производства и потребления пищевых продуктов, вплоть до конечного их потребления: -интерактивный обмен информацией; -системы менеджмента (это «сокращенные» требования стандарта СТ РК ИСО 9001, актуальные для участников пищевой цепи); -программы создания предварительных условий (санитарно-гигиенические мероприятия, процедуры ремонта и мойки оборудования, т.д.); -принципы анализа рисков и критические контрольные точки, т.е. реализация системы HACCP в полном объеме.	-повышение безопасности пищевых продуктов; -соблюдение требований законодательства; -повышение доверия потребителей; -улучшение эффективности; -защита репутации; -улучшение доступа к рынкам; -поддержка инноваций; -повышение конкурентоспособности	- ресурсоемкость; - бюрократия; -проблемы с интерпретацией требований стандартов; -потенциал для формального подхода; -требуется постоянное совершенствование: СМБПП на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000 требует постоянного совершенствования, что может быть дорогостоящим и трудоемким для организаций.

Эффективная реализация СМБПП на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000 требует приверженности со стороны руководства, вовлечения сотрудников и постоянного совершенствования. Организации, внедрившие СМБПП на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000, могут повысить безопасность пищевых продуктов, соответствовать нормативным требованиям, улучшить эффективность и защитить свою репутацию.

### Заключение

Внедряя на предприятиях HACCP и СМБПП на основе СТ РК ISO 22000/ISO 22000, производители пищевых продуктов могут повысить безопасность и качество своей продукции. Это не только защищает потребителей от пищевых заболеваний, но и укрепляет доверие к пищевой промышленности и способствует экономическому росту.

Анализ отраслевых систем производства пищевых продуктов позволит выявить возможности для разработки еще более эффективных и всеобъемлющих систем обеспечения безопасности и качества пищевых продуктов. Эти системы будут играть жизненно важную роль в удовлетворении растущих ожиданий потребителей и обеспечении безопасной и качественной пищевой продукции для будущих поколений.

### Список литературы

1. Tsitsifli S. Water Safety Plans and HACCP implementation in water utilities around the world: benefits, drawbacks and critical success factors / S. Tsitsifli, D.S. Tsoukalas // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – Т. 28, № 15. – С. 18837-18849. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07312-2>.
2. Awuchi C.G. HACCP, quality, and food safety management in food and agricultural systems / C.G. Awuchi // Cogent Food & Agriculture. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 2176280.
3. Milios K. Factors influencing HACCP implementation in the food industry / K. Milios, E.H. Drosinos, P.E. Zoiopoulos // Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society. – 2012. – Т. 63, № 4. – С. 283-290. <https://doi.org/10.12681/jhvms.15442>. 2017.
4. Quality F. Food quality and safety systems: a training manual on food hygiene and the hazard analysis and critical control point (HACCP) system / F. Quality // FAO. – 1998.
5. From invention to innovation: risk analysis to integrate one health technology in the dairy farm / A. Lombardo et al // Frontiers in Public Health. – 2017. – Т. 5. – С. 302.
6. Njunina V. HACCP principles-What are the steps of HACCP / V. Njunina // FoodDocs. Accessed August. 2022. – № 7, Т. 24. – С. 2022. Available from <https://www.fooddocs.com/post/haccp-principles>.
7. Grain processing methods' effectiveness to eliminate mycotoxins: An overview / C.G. Awuchi et al // Asian Journal of Chemistry. – 2021. – Т. 33, № 10.
8. Ohmic Heating as an Advantageous Technology for the Food Industry: Prospects and Applications / S. Morya et al // Environmental Management Technologies. – CRC Press. – 2022. – С. 307-327. <https://doi.org/10.1201/9781003239956-19>.
9. FAO U.N. Food safety and quality / U.N. FAO // Food And Agriculture Organization Of The United Nations. – 2022. Available from <https://www.fao.org/food-safety/en/>.
10. FAO U.N. Section 3 - the hazard analysis and critical control point (HACCP) system / U.N. FAO // Food And Agriculture Organization Of The United Nations. – 2022. Available from <https://www.fao.org/3/w8088e/w8088e05.htm>.

### **Информация о финансировании**

*Данное исследование профинансировано Министерством науки и высшего образования РК ИРН: BR21882184 «Создание комплекса мер по управлению рисками для обеспечения безопасности пищевой продукции и разработка мясо-молочных продуктов с повышенной биологической ценностью».*

**Б.К. Булашев\*, С.Г. Каманова, И.Ж. Темирова, А.К. Игенбаев, Г.Х. Оспанкулова**

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жеңіс даңғылы 62

\*e-mail: berdibek\_aruzhan@mail.ru

### **АЗЫҚ-ТҮЛІК ҚАУІПСІЗДІГІ МЕН САПАСЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН АЗЫҚ-ТҮЛІК ӨНДІРІСІНІҢ САЛАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН ТАЛДАУ**

*Елдің экономикалық қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін тамақ өнімдерін қауіпсіз өндіру мен өңдеуді қамтамасыз ету қажет. Бұл мақалада қауіптер мен сыни бақылау нүктелерін талдау (НАССР), сондай-ақ ҚР СТ ISO 22000/ISO 22000 негізінде тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі менеджменті жүйесін талдау көрсетілген. Азық-түліктің қауіпсіздігі мен сапасын қамтамасыз ету жүйелері тәуекелдерді азайту және ең қатаң стандарттарға сәйкестігін қамтамасыз ету үшін қажет. НАССР ҚР-дағы ISO 22000/ISO 22000 стандарттарына негізделген тамақ өнімдерінің қауіпсіздігін басқару жүйесінде маңызды рөл атқарады, бұл компанияларға тамақ өнімдерін өндіру, өңдеу және тарату процесінде олардың қауіптілігін анықтауға, бағалауға және басқаруға көмектеседі. Қолданыстағы тамақ өнімдерін өндіру жүйелерін талдау тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі мен сапасын қамтамасыз етудің неғұрлым тиімді және жан-жақты жүйелерін әзірлеу үшін мүмкіндіктерді анықтауға мүмкіндік береді. Бұл жетілдірілген жүйелер тұтынушылардың өсіп келе жатқан қажеттіліктері мен үміттерін қанағаттандыру және болашақ ұрпақ үшін қауіпсіз және сапалы тамақ өнімдерін қамтамасыз ету үшін өте маңызды болады. ҚР СТ ISO 22000/ISO 22000 негізінде НАССР және СМБПП кәсіпорындарына енгізе отырып, тамақ өнімдерін өндірушілер өз өнімдерінің қауіпсіздігі мен сапасын арттыра алады.*

**Түйін сөздер:** Тамақ қауіпсіздігі, тамақ өнімдері, қауіпсіздік жүйесі, НАССР, менеджмент жүйесі.

**B. Balashov\*, S. Karmanova, I. Temirova, A. Igenbayev, G. Ospankulova**

<sup>1</sup>Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,

010000, Republic of Kazakhstan, Astana, 62 Zhenis ave.

\*e-mail: berdibek\_aruzhan@mail.ru

### **ANALYSIS OF INDUSTRIAL FOOD PRODUCTION SYSTEMS TO ENSURE FOOD SAFETY AND QUALITY**

*To ensure the economic security of the country, it is necessary to ensure the safe production and processing of food products. This article reflects the analysis of hazards and critical control points (HACCP), as well as the analysis of the Food Safety Management System based on ST RK ISO 22000/ISO 22000. Food safety and quality assurance systems are essential to reduce risks and ensure compliance with the strictest standards. HACCP plays an important role in the food safety management system based on ISO 22000/ISO 22000 standards in the Republic of Kazakhstan, helping companies identify, assess and manage food-related hazards during their production, processing and distribution. An analysis of existing food production systems will identify opportunities for the development of more effective and comprehensive food safety and quality assurance systems. These improved systems will be vital to meet the growing needs and expectations of consumers, as well as to ensure safe and high-quality food products for future generations. By introducing HACCP and SMBPP at enterprises based on ISO 22000/ISO 22000 ST RK, food manufacturers can improve the safety and quality of their products.*

**Key words:** food safety, food products, safety system, HACCP, management system.

### **Сведения об авторах**

**Бердибек Кабкенович Булашев\*** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: berdibek\_aruzhan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1831-3315>.

**Светлана Георгиевна Каманова** – магистр технических наук; Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

**Индира Жанатовна Темирова** – магистр технических наук; Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: indira\_t85@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9717-3236>.

**Айдын Каирбекович Игенбаев** – PhD, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: a.igenbayev@kazatu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9903-2912>.

**Гульназым Хамитовна Оспанкулова** – кандидат биологических наук; Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Бердибек Кабкенович Булашев\*** – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, доцент; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: berdibek\_aruzhan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1831-3315>.

**Светлана Георгиевна Каманова** – техника ғылымдарының магистрі; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

**Индира Жанатовна Темирова** – техника ғылымдарының магистрі; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: indira\_t85@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9717-3236>.

**Айдын Каирбекович Игенбаев** – PhD, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: a.igenbayev@kazatu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9903-2912>.

**Гульназым Хамитовна Оспанкулова** – биология ғылымдарының кандидаты; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

#### Information about the authors

**Berdibek Bulashev\*** – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: berdibek\_aruzhan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1831-3315>.

**Svetlana Kamanova** – master of technical sciences; Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

**Indira Temirova** – master of technical sciences; Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: indira\_t85@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9717-3236>.

**Aidyn Igenbayev** – PhD, NJSC «Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin»; e-mail: a.igenbayev@kazatu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9903-2912>.

**Gulnazim Ospankulova** – Candidate of Biological Sciences; Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

Поступила в редакцию 24.06.2024

Поступила после доработки 10.09.2024

Принята к публикации 12.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-25](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-25)

МРНТИ: 65.61.03



**С.А. Садуахасова\*, Б.С. Шайменова, Л.А. Мурат, С.Г. Каманова, Г.Х. Оспанкулова**

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,  
010011, Республика Казахстан, г. Астана, проспект Женис, 62

\*e-mail: saule\_aru@list.ru

## ВЛИЯНИЕ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ НА ОБЩУЮ БАКТЕРИАЛЬНУЮ ОБСЕМЕНЕННОСТЬ СКОРЛУПЫ УТИНЫХ ЯИЦ

**Аннотация:** Роль общего количества жизнеспособных микроорганизмов на яичной скорлупе представляет значительный интерес, поскольку она связана с безопасностью яиц и сроком годности продукта.

Целью настоящего исследования было оценить влияние различных дезинфицирующих средств на общую бактериальную обсеменённость скорлупы утиных яиц. Для этого были приобретены свежие доброкачественные утиные яйца из фермерского хозяйства, приготовлены растворы дезинфицирующих средств: 6% перекись водорода, 4% хлорная известь, 4% карбонат

натрия, 3% уксусная кислота. При дезинфекции утиных или гусиных яиц дозу вещества увеличивают в 2 раза в сравнение с куриными. Яйца обрабатывались приготовленными обеззараживающими растворами, время воздействия отличались. Экспозиция перекиси водорода составила 4 и 8 мин, хлорной извести – 2 и 5 мин, карбоната натрия – 10 и 30 мин, уксусной кислоты – 5 и 15 мин. Производился отбор проб смывов со скорлупы исследуемых яиц до и после дезинфекции, готовились разведения с последующим высевом на чашки Петри с неселективной средой, инкубацией посевов при 300 С в течение 72 часов. В результате подсчёта колоний определяли количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), выраженное в КОЕ/яйцо.

Результаты исследования показали, что в случае применения уксусной кислоты, перекиси водорода, хлорной извести прослеживается прямая зависимость инактивации микроорганизмов от времени воздействия. Более длительный период контакта яйца с карбонатом натрия не привёл к измеримому снижению количества жизнеспособных микроорганизмов. Также было выявлено, что 4% хлорная известь способна полностью инактивировать микробы на яичной скорлупе в течение 5 мин, при экспозиции 2 мин показатель общей микробной обсеменённости составил  $9,2 \cdot 10^1 \pm 0,7$  КОЕ/яйцо.

Таким образом, в данном исследовании растворы хлорной извести, перекиси водорода и уксусной кислоты показали высокие бактерицидные свойства, и могут рассматриваться как эффективные средства для дезинфекции утиной яичной скорлупы.

Большинство научных статей посвящены изучению куриных яиц. В данной работе объектом исследования являются утиные яйца, выявлены лучшие дезинфицирующие средства для обработки скорлупы яиц, что является актуальной задачей в птицеводстве. Полученные результаты могут помочь фермерам реализовать более эффективные стратегии борьбы с инфекциями пищевого происхождения.

**Ключевые слова:** утиные яйца, дезинфицирующие вещества, общая бактериальная обсеменённость, бактериологический посев, микроорганизмы.

## Введение

Яйца – совершенная пища в природе, отличающаяся от многих продуктов питания длительными сроками хранения, благодаря своим защитным устройствам, включая кутикулу, скорлупу, мембраны скорлупы [1].

Яйца с более прочной скорлупой обеспечивают лучшую устойчивость к проникновению микробов и внутреннему загрязнению содержимого. Толщина скорлупы утиных яиц выше, чем у куриных и составляет 0,36-0,42 мм. В скорлупе утиного яйца более высокий органический матрикс (2,31 против 1,72%) и меньшее содержание Mg (0,12 против 0,45%), чем в скорлупе куриного яйца. Это может сыграть определённую роль в улучшении качества яичной скорлупы у уток по сравнению с курами [2].

На качество скорлупы влияют возраст птицы, рацион питания, генотип. У птиц старшего возраста толщина скорлупы уменьшается из-за плохой абсорбции кальция из кишечника и мобилизации из костей [3]. Несмотря на все защитные барьеры, яйца могут заразиться и стать причиной желудочно-кишечных заболеваний пищевого происхождения.

Существует два пути микробного заражения яйца: вертикальный и горизонтальный. Вертикальное заражение происходит, когда яйцеклетки заражаются во время их формирования либо в яичнике, либо в яйцеводе [4]. Горизонтальная передача происходит после откладки яйца, при этом бактерии проникают через оболочку [5].

Яйца из чистых гнёзд содержат на скорлупе определённое количество микроорганизмов, общее количество аэробных мезофильных бактерий может достигать  $3,75-7,07 \log_{10}$  колониеобразующих единиц (КОЕ) на яйцо [6]. В ходе исследования [7] из яичной скорлупы были выделены 16 родов бактерий. Бактериальное загрязнение яиц является предметом серьёзных исследований, так как это связано с безопасностью яиц и сроком годности продукта.

Утиные яйца являются важным источником питания во многих развивающихся странах из-за низких капитальных затрат, необходимых для выращивания уток. Потребление утиных яиц составляет 10-30% от общего мирового потребления яиц [8].

Существуют различные методы обеззараживания скорлупы яиц: озонная фумигация, фумигация параформальдегидом, облучение ультрафиолетом типа С, опрыскивание перекисью водорода, надуксусной кислотой.

Одним из высокоэффективных средств дезинфекции является озонная фумигация. Но, при таком способе дезинфекции необходимо дополнительное оборудование,



приобретение озонаторов. Поскольку озон нестойкий, то сразу после выключения озонатора концентрация его в дезкамере быстро снижается, что обуславливает необходимость постоянной выработки его в камере. Резиновые материалы в озоне разрушаются. Для удаления отработанного газа камеру оборудуют вытяжным вентилятором.

В работе [9] показано, что значительное снижение общего количества аэробных мезофильных бактерий на яичной скорлупе выявлено при воздействии УФ-излучения в течение 60 с при мощности 7,5 и 4-14 мВт/см<sup>2</sup>.

Исследователям [10] не удалось добиться такого же снижения количества микробов с помощью УФ-излучения по сравнению с фумигацией формальдегидом. Этот результат может быть обусловлен тем, что ультрафиолетовому свету трудно достичь всей поверхности яйца, что делает невозможным подвергать бактерии облучению и, следовательно, вызывать большее снижение количества микробов в яичной скорлупе.

Наиболее доступным, действенным и экономичным методом понижения микробной обсеменённости яиц является погружение в дезинфицирующий раствор. В исследованиях [11] выявлены оптимальные режимы дезинфекции куриных яиц перекисью водорода – 3% концентрация с длительностью обработки 8 мин. При дезинфекции утиных или гусиных яиц дозу веществ увеличивают в 2 раза.

Авторы [12] обнаружили, что уксусная кислота может использоваться в качестве местного антисептика в концентрации 3% и оказывать высокое ингибирующее действие на грамотрицательные микроорганизмы, такие как *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Acinetobacter baumannii*. Уксусная кислота, проникая через клеточные мембраны микроорганизмов вызывает гибель бактериальных клеток. По результатам исследования [13] дезинфекция загрязнённых гусиных яиц 3% уксусной кислотой успешно снижали микробную нагрузку и не оказывали негативного влияния на характеристики яиц. В коммерческие средства для обеззараживания яиц обычно включают щелочные ингредиенты на основе карбоната натрия и хлора.

Основная цель этого исследования состояла в оценке эффективности использования различных дезинфицирующих средств посредством определения общей бактериальной обсеменённости скорлупы утиных яиц. Результаты работы могут помочь фермерам разработать правильные стратегии применения дезинфицирующих агентов на предприятиях по переработке яиц.

### **Методы исследования**

Объектами исследования являлись яйца от уток породы «Пекинская», выращенные на ферме, и дезинфицирующие вещества для обработки поверхности скорлупы яиц: перекись водорода, хлорная известь, уксусная кислота, карбонат натрия.

В работе использованы микробиологические методы для определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) на поверхности скорлупы яиц до обработки и после обработки дезинфицирующими средствами.

Для получения смыва яйцо погружали в стакан, содержащий 10 мл стерильной воды и с помощью стерильного тампона обмывали поверхность скорлупы яйца в течение 3 минут. Яйцо удаляли, смыв использовали для проведения исследования [14].

Для проведения микробиологических исследований готовили десятикратные разведения, и производили высевы на чашки Петри со средой МПА в нескольких повторностях. Через 72 часа инкубирования посевов при 30°C подсчитывали количество выросших колоний и определяли КМАФАнМ, выраженное в КОЕ/яйцо [15].

Проводили культурально-морфологические исследования выросших колоний.

Статистическая обработка данных

Результаты экспериментальных исследований представлены среднеарифметическими значениями, определёнными из трёх параллельных измерений. Математическую обработку измерений проводили с использованием стандартных компьютерных программ MS Office Excel 2010 по общепринятым методикам.

### **Результаты исследований**

В работе использовались свежие утиные яйца, приобретённые в фермерском хозяйстве. Для опытов отбирались целые яйца с неповреждённой скорлупой. Определяли общую бактериальную обсеменённость смывов со скорлупы исследуемых яиц до обработки дезинфицирующим средством и после.

В качестве обеззараживающих веществ использовались перекись водорода, хлорная известь, уксусная кислота, карбонат натрия с концентрациями 6%, 4%, 3%, 4%, соответственно. При дезинфекции утиных или гусиных яиц дозу веществ, как правило, увеличивают в 2 раза в сравнение с куриными. Время обработки яйца для каждого средства отличалось как показано в таблице 1.

Таблица 1 – Образцы дезинфицирующих средств с определённой концентрацией и экспозицией

Образец дезинфицирующего средства	Дезинфицирующее средство, концентрация (%)	Экспозиция дезинфицирующего средства, мин
1	Перекись водорода, 6%	4 мин
2	Перекись водорода, 6%	8 мин
3	Хлорная известь, 4%	2 мин
4	Хлорная известь, 4%	5 мин
5	Карбонат натрия, 4%	10 мин
6	Карбонат натрия, 4%	30 мин
7	Уксусная кислота, 3%	5 мин
8	Уксусная кислота, 3%	15 мин

Для определения общего количества жизнеспособных микроорганизмов на яичной скорлупе после обработки дезинфицирующими веществами, яйца промывали водой и погружали в дезинфицирующий раствор (параметры индивидуальны для каждого образца). После, яйцо ополаскивали водой, давали воде стечь [16]. Далее производили смывы со скорлупы яиц с дальнейшими высевами из разведений на чашки Петри со средой. В качестве контроля использовалась стерильная вода. Результаты общей микробной обсеменённости представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели общей бактериальной обсеменённости поверхности скорлупы яиц до и после обработки дезинфицирующими средствами, КОЕ/яйцо

Образец дезинфицирующего средства	Общая бактериальная обсеменённость поверхности скорлупы яйца, КОЕ/яйцо	
	до обработки дезинфицирующим раствором	после обработки дезинфицирующим раствором
1	$7,6 \cdot 10^4 \pm 2,1$	$1,3 \cdot 10^2 \pm 3,6$
2	$4,2 \cdot 10^4 \pm 0,5$	$2,5 \cdot 10^1 \pm 1,8$
3	$3,5 \cdot 10^5 \pm 3,1$	$9,2 \cdot 10^1 \pm 0,7$
4	$8,2 \cdot 10^4 \pm 1,9$	$0 \pm 0,0$
5	$6,4 \cdot 10^5 \pm 2,4$	$0,4 \cdot 10^3 \pm 1,2$
6	$9,7 \cdot 10^4 \pm 0,7$	$4,7 \cdot 10^2 \pm 3,1$
7	$7,2 \cdot 10^4 \pm 0,4$	$6,1 \cdot 10^2 \pm 2,9$
8	$3,8 \cdot 10^4 \pm 1,5$	$2,3 \cdot 10^1 \pm 1,4$
Контроль	$8,1 \cdot 10^4 \pm 2,6$	$0,2 \cdot 10^4 \pm 0,5$

Как видно из таблицы 2 общее количество микроорганизмов на скорлупе невымытых яиц колеблется от  $4,2 \cdot 10^4$  до  $6,4 \cdot 10^5$  КОЕ/яйцо. Проведённые культурально-морфологические исследования показали, что микрофлора представлена грамположительными, грамотрицательными кокками и палочками, также дрожжеподобными и плесневыми грибами.

Показатели КМАФАнМ на яичной скорлупе необработанных яиц и обработанных водой (контрольная группа) существенно не различались, составили  $8,1 \cdot 10^4 \pm 2,6$  и  $0,2 \cdot 10^4 \pm 0,5$  КОЕ/яйцо, соответственно. Данные общей микробной обсеменённости скорлупы яиц после обработки химическими веществами снизились в разной степени. Наибольший ингибирующий эффект наблюдался у 4% хлорной извести с экспозицией 5 минут, наименьший - 4% карбонат натрия (10 минут).

#### Обсуждение научных результатов

Обеззараживание яичной скорлупы необходимо для повышения микробиологической безопасности свежих утиных яиц, используемых человеком для потребления. Существует несколько методов дезинфекции яиц, таких как протирание, опрыскивание, погружение,

фумигация формальдегидом. Формальдегид является наиболее распространенным дезинфицирующим средством, обладает превосходной антимикробной способностью, но является токсичным для окружающей среды. Сегодня формальдегидная дезинфекция уходит в прошлое, её заменяют более безопасные растворы на кислотной, щелочной основе. В данном исследовании были протестированы дезинфицирующие средства: уксусная кислота, карбонат натрия, перекись водорода, хлорная известь.

Результаты, полученные в данном исследовании, показывают, что в случае применения уксусной кислоты, перекиси водорода, хлорной извести прослеживается прямая зависимость инактивации микроорганизмов от времени воздействия. Чем длительнее экспозиция, тем меньше живых микроорганизмов (табл. 2).

Более длительный период контакта яйца с карбонатом натрия не привели к измеримому снижению количества жизнеспособных микроорганизмов (табл. 2). Авторами работы [17] обнаружено, что гибель клеток *S. typhimurium* и *E. coli* зависит от концентрации карбонат-анионов, а не от рН.

Наше исследование показывает, что 4% хлорная известь способна полностью инактивировать микробы на яичной скорлупе в течение 5 мин (табл. 2), при экспозиции 2 мин показатель общей микробной обсеменённости составил  $9,2 \cdot 10^1 \pm 0,7$  КОЕ/яйцо. Антимикробная активность растворов, содержащих хлор, зависит от количества хлорноватистой кислоты (HOCl), присутствующей в воде, как сообщалось ранее [18].

Учитывая доступность, низкую стоимость и эффективность хлорной извести, его можно использовать в качестве противомикробного средства по обработке утиных яиц в производственных объёмах (концентрация 4%, экспозиция – 2 мин).

Таким образом, в данном исследовании растворы хлорной извести, перекиси водорода и уксусной кислоты показали высокие бактерицидные свойства, и могут рассматриваться как эффективные средства для дезинфекции утиной яичной скорлупы. Полученные результаты могут помочь фермерам реализовать более эффективные стратегии борьбы с инфекциями пищевого происхождения.

### **Заключение**

Это исследование показывает, что растворы хлорной извести, перекиси водорода и уксусной кислоты обладают высокой эффективностью для инактивации микрофлоры на поверхности утиной яичной скорлупы даже при коротком времени контакта. Помимо высокой дезинфицирующей способности, исследуемые средства экологически безопасны, не представляют риска для здоровья животных и человека и могут использоваться в качестве бактерицидного средства для повышения биобезопасности в птицеводстве.

В данной работе использованы традиционные методы бактериологического анализа. Для улучшения методологии можно использовать методы ПЦР для анализа микробных сообществ. Молекулярно-генетические методы метагеномного анализа состава бактериального сообщества позволяют выявлять микроорганизмы в образцах без предварительного культивирования и без выделения видоспецифических фрагментов по суммарной ДНК и амплификации генов, кодирующих рРНК.

### **Список литературы**

1. Baker R.C. Microbiology of eggs / R.C. Baker // Journal of Food Protection. – 1974. – Т. 37, № 5. – P. 265-268.
2. Huang J.F. Production, composition, and quality of duck eggs / J.F. Huang, C.C. Lin // Improving the safety and quality of eggs and egg products. – 2011. – P. 487-508.
3. Attia Y.A. Calcium and cholecalciferol levels in late-phase laying hens: effects on productive traits, egg quality, blood biochemistry, and immune responses / Y.A. Attia, M.A. Al-Harhi, H.M. Abo El-Maaty // Frontiers in Veterinary Science. – 2020. – Т. 7. – P. 389.
4. Contamination of eggs by Salmonella Enteritidis in experimentally infected laying hens of four commercial genetic lines in conventional cages and enriched colony housing / R.K. Gast et al // Poultry Science. – 2019. – Т. 98, № 10. – P. 5023-5027.
5. McWhorter A.R. Salmonella on Australian cage egg farms: Observations from hatching to end of lay / A.R. McWhorter, K.K. Chousalkar // Food microbiology. – 2020. – Т. 87. – P. 103384.
6. Evaluation of a method of ultraviolet light sanitation of broiler hatching eggs / C.D. Coufal et al // Poultry Science. – 2003. – Т. 82, № 5. – P. 754-759.

7. Board R.G. The microbiology of eggs / R.G. Board, H.S. Tranter // *Egg science and technology*. – 2017. – P. 81-104.
8. Pingel H. Waterfowl production for food security. Proceed / H. Pingel // *IV World Waterfowl Conference, Thrissur, India*. – 2009. – P. 5-15.
9. Disinfection of eggshells using ultraviolet light and hydrogen peroxide independently and in combination / J.B. Wells et al // *Poultry science*. – 2010. – Т. 89, № 11. – P. 2499-2505.
10. Evaluation of a method of ultraviolet light sanitation of broiler hatching eggs / C.D. Coufal et al // *Poultry Science*. – 2003. – Т. 82, № 5. – P. 754-759.
11. Eggshell microbiology and quality of hatching eggs subjected to different sanitizing procedures / W.L.S. Clímaco et al // *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. – 2018. – Т. 53. – P. 1177-1183.
12. The antimicrobial effect of acetic acid-an alternative to common local antiseptics? / H. Ryssel et al // *Burns*. – 2009. – Т. 35, № 5. – P. 695-700.
13. Investigating the disinfecting efficacy of acetic and boric acid used by spraying on hatching goose eggs / M. Eroglu et al // *European Poultry Science/Archiv für Geflügelkunde*. – 2024. – № 392.
14. Пульчеровская Л.П. Ветеринарно-санитарная экспертиза куриных яиц / Л.П. Пульчеровская, Е.А. Ляшенко // *Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения*. – 2022. – С. 297-306.
15. Красникова Л.В. Общая и пищевая микробиология / Л.В. Красникова, П.И. Гунькова, О.А. Савкина. – 2016.
16. Изучение антимикробного действия моющего и дезинфицирующих средств на микрофлору поверхности скорлупы яиц / С.А. Гордынец и др. // *Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья*. – 2022. – Т. 1, № 14. – С. 248-257.
17. Park G.W. Utilization of carbonate and ammonia- based treatments to eliminate Escherichia coli O157: H7 and Salmonella Typhimurium DT104 from cattle manure / G.W. Park, F. DiezGonzalez // *Journal of applied microbiology*. – 2003. – Т. 94, № 4. – P. 675-685.
18. Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water / J.L. Guentzel et al // *Food microbiology*. – 2008. – Т. 25, № 1. – P. 36-41.

### References

1. Baker R.C. Microbiology of eggs / R.C. Baker // *Journal of Food Protection*. – 1974. – Т. 37, № 5. – R. 265-268. (In English).
2. Huang J.F. Production, composition, and quality of duck eggs / J.F. Huang, C.C. Lin // *Improving the safety and quality of eggs and egg products*. – 2011. – R. 487-508. (In English).
3. Attia Y.A. Calcium and cholecalciferol levels in late-phase laying hens: effects on productive traits, egg quality, blood biochemistry, and immune responses / Y.A. Attia, M.A. Al-Harthi, H.M. Abo El-Maaty // *Frontiers in Veterinary Science*. – 2020. – Т. 7. – R. 389. (In English).
4. Contamination of eggs by Salmonella Enteritidis in experimentally infected laying hens of four commercial genetic lines in conventional cages and enriched colony housing / R.K. Gast et al // *Poultry Science*. – 2019. – Т. 98, № 10. – R. 5023-5027. (In English).
5. McWhorter A.R. Salmonella on Australian cage egg farms: Observations from hatching to end of lay / A.R. McWhorter, K.K. Chousalkar // *Food microbiology*. – 2020. – Т. 87. – R. 103384. (In English).
6. Evaluation of a method of ultraviolet light sanitation of broiler hatching eggs / C.D. Coufal et al // *Poultry Science*. – 2003. – Т. 82, № 5. – R. 754-759. (In English).
7. Board R.G. The microbiology of eggs / R.G. Board, H.S. Tranter // *Egg science and technology*. – 2017. – R. 81-104. (In English).
8. Pingel H. Waterfowl production for food security. Proceed / H. Pingel // *IV World Waterfowl Conference, Thrissur, India*. – 2009. – R. 5-15. (In English).
9. Disinfection of eggshells using ultraviolet light and hydrogen peroxide independently and in combination / J.B. Wells et al // *Poultry science*. – 2010. – Т. 89, № 11. – R. 2499-2505. (In English).
10. Evaluation of a method of ultraviolet light sanitation of broiler hatching eggs / C.D. Coufal et al // *Poultry Science*. – 2003. – Т. 82, № 5. – R. 754-759. (In English).
11. Eggshell microbiology and quality of hatching eggs subjected to different sanitizing procedures / W.L.S. Clímaco et al // *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. – 2018. – Т. 53. – R. 1177-1183. (In English).

12. The antimicrobial effect of acetic acid-an alternative to common local antiseptics? / H. Ryssel et al // Burns. – 2009. – Т. 35, № 5. – R. 695-700. (In English).
13. Investigating the disinfecting efficacy of acetic and boric acid used by spraying on hatching goose eggs / M. Eroglu et al // European Poultry Science/Archiv für Geflügelkunde. – 2024. – № 392. (In English).
14. Pul'cherovskaya L.P. Veterinarno-sanitarnaya ehkspertiza kurinykh yaits / L.P. Pul'cherovskaya, E.A. Lyashenko // Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom eh tape razvitiya: opyt, problemy i puti ikh resheniya. – 2022. – S. 297-306. (In Russian).
15. Krasnikova L.V. Obshchaya i pishchevaya mikrobiologiya / L.V. Krasnikova, P.I. Gun'kova, O.A. Savkina. – 2016. (In Russian).
16. Izuchenie antimikrobnogo deistviya moyushchego i dezinfitsiruyushchikh sredstv na mikroflu ru poverkhnosti skorlupy yaits / S.A. Gordynets i dr. // Aktual'nye voprosy pererabotki myasnogo i molochnogo syr'ya. – 2022. – Т. 1, № 14. – S. 248-257. (In Russian).
17. Park G.W. Utilization of carbonate and ammonia-based treatments to eliminate Escherichia coli O157: H7 and Salmonella Typhimurium DT104 from cattle manure / G.W. Park, F. DiezGonzalez // Journal of applied microbiology. – 2003. – Т. 94, № 4. – R. 675-685. (In English).
18. Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water / J.L. Guentzel et al // Food microbiology. – 2008. – Т. 25, № 1. – R. 36-41. (In English).

### **Информация о финансировании**

*Данное исследование было профинансировано Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан «BR 21882327 – Разработка новых технологий органического производства и переработки сельскохозяйственной продукции».*

**С.А. Садуахасова\*, Б.С. Шайменова, Л.А. Мурат, С.Г. Каманова, Г.Х. Оспанкулова**

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,  
010011, Қазақстан Республикасы 010011 Астана қаласы, Жеңіс даңғылы, 62

\*e-mail: saule\_aru@list.ru

### **ҮЙРЕК ЖҰМЫРТҚАСЫНЫҢ ҚАБЫҒЫНЫҢ ЖАЛПЫ БАКТЕРИЯЛЫҚ ЛАСТАУЫНА ДЕЗИНФЕКЦИЯЛЫҚ ҚҰРАЛДАРДЫҢ ӘСЕРІ**

*Жұмыртқа қабығындағы өміршең микроағзалардың жалпы санының рөлі айтарлықтай қызығушылық тудырады, өйткені ол жұмыртқаның қауіпсіздігі мен өнімнің жарамдылық мерзіміне байланысты.*

*Бұл зерттеудің мақсаты үйрек жұмыртқасының қабығының жалпы бактериялық ластауына әртүрлі дезинфекциялық құралдардың әсерін бағалау болды. Ол үшін фермадан жаңа үйрек жұмыртқалары сатып алынып, 6% сутегі асқын тотығы, 4% хлорлы әк, 4% натрий карбонаты, 3% сірке қышқылы дезинфекциялық ерітінділер дайындалды. Үйрек немесе қаз жұмыртқасын дезинфекциялау кезінде тауық жұмыртқасымен салыстырғанда дезинфекциялық заттардың дозасы екі есеге артады. Жұмыртқалар дайындалған дезинфекциялық ерітінділермен өңделді және әсер ету уақыты әр түрлі болды. Сутегі асқын тотығының экспозициясы 4 және 8 минут, хлорлы әк – 2 және 5 минут, натрий карбонаты – 10 және 30 минут, сірке қышқылы – 5 және 15 минут болды. Зерттелетін жұмыртқалардың қабықтарынан дезинфекцияға дейін және одан кейін шайындылардың сынамаларын іріктеу жүргізіліп, сұйылтулар дайындалды, содан кейін іріктелмейтін қоректік ортасы бар Петри табақшалары 72 сағат бойы 30°C температурада өсірілді. Колонияларды санау нәтижесінде КТБ/жұмыртқада көрсетілген мезофильді аэробты және факультативті-анаэробты микроағзалардың (МАФАНМС) саны анықталды.*

*Сондай-ақ, 4% хлорлы әк жұмыртқа қабығындағы микробтарды 5 минут ішінде толығымен инактивациялауға қабілетті екендігі анықталды, 2 мин экспозицияда жалпы микробтық ластану көрсеткіші  $9,2 \cdot 10^1 \pm 0,7$  КТБ/жұмыртқа болды.*

*Осылайша, бұл зерттеуде хлорлы әк, сутегі асқын тотығы және сірке қышқылының ерітінділері жоғары бактерицидтік қасиеттерді көрсетті және үйрек жұмыртқасының қабығын дезинфекциялаудың тиімді құралы ретінде қарастырылуы мүмкін.*

*Ғылыми мақалалардың көпшілігі тауық жұмыртқасын зерттеуге арналған. Бұл жұмыста үйрек жұмыртқалары зерттеу объектісі болып табылады, жұмыртқа қабығын өңдеуге арналған ең жақсы дезинфекциялық құралдар анықталды, бұл құс шаруашылығындағы өзекті міндет.*

*Алынған нәтижелер фермерлерге тағамдық инфекцияларды бақылаудың тиімді стратегияларын жүзеге асыруға көмектесуі мүмкін.*

**Түйін сөздер:** үйрек жұмыртқалары, дезинфекциялау құралдары, жалпы бактериялық ластауы, бактериологиялық себінді, микроағзалар.

**S. Saduakhasova\*, B. Shaimenova, L. Murat, S. Kamanova, G. Ospankulova**  
S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,  
010011, Republic of Kazakhstan 010011, Astana city Zhenis avenue, 62  
\*e-mail: saule\_aru@list.ru

## **INFLUENCE OF DISINFECTANTS ON THE TOTAL BACTERIAL CONTAMINATION OF DUCK EGGSHELLS**

*The role of the total viable microbial count on eggshells is of significant interest, as it relates to egg safety and product shelf life.*

The aim of this study was to assess the influence of various disinfectants on the overall bacterial contamination of duck eggshells. For this purpose, fresh high-quality duck eggs were obtained from a farm, and solutions of disinfectants were prepared: 6% hydrogen peroxide, 4% calcium hydroxide, 4% sodium carbonate, and 3% acetic acid. When disinfecting duck or goose eggs, the dosage of substances is doubled compared to chicken eggs. The eggs were treated with prepared disinfectant solutions, with varying exposure times. The exposure times for hydrogen peroxide were 4 and 8 minutes, for calcium hypochlorite – 2 and 5 minutes, for sodium carbonate – 10 and 30 minutes, and for acetic acid – 5 and 15 minutes. Samples of washings from the eggshells were collected both before and after disinfection. Dilutions were prepared and subsequently plated on Petri dishes with non-selective media, followed by incubation at 30°C for 72 hours. As a result of colony counting, the number of mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microorganisms (CFU/egg) was determined.

The results of the study showed a direct correlation between the inactivation of microorganisms and exposure time when using acetic acid, hydrogen peroxide, and calcium hypochlorite. A longer contact period of the eggs with sodium carbonate did not result in a measurable reduction in the number of viable microorganisms. It was also found that 4% calcium hypochlorite could completely inactivate microbes on the eggshell within 5 minutes. With a 2-minute exposure, the total microbial contamination was  $9.2 \cdot 10^1 \pm 0.7$  CFU/egg.

Thus, in this study, solutions of calcium hypochlorite, hydrogen peroxide, and acetic acid demonstrated high bactericidal properties and can be considered effective agents for disinfecting duck eggshells.

Most scientific articles are devoted to the study of chicken eggs. In this work, the object of research is duck eggs, the best disinfectants for processing eggshells have been identified, which is an urgent task in poultry farming.

*The obtained results can help farmers implement more effective strategies for combating foodborne infections.*

**Key words:** duck eggs, disinfectants, total bacterial contamination, bacteriological plating, microorganisms.

### **Сведения об авторах**

**Сауле Абдухаповна Садуахасова\*** – кандидат биологических наук, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: saule\_aru@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-5732>.

**Бахыт Сайлауовна Шайменова** – магистр технических наук, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: bshaymenova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5472-036X>.

**Линара Азаматқызы Мурат** – магистр технических наук, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: linaraazamatkyzy@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5684-0621>.

**Светлана Георгиевна Каманова** – магистр технических наук, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

**Гульназым Хамитовна Оспанкулова** – кандидат биологических наук, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, г. Астана, Республика Казахстан; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Сауле Абдухаповна Садуахасова\*** – биология ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: saule\_aru@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-5732>.

**Бахыт Сайлауовна Шайменова** – техника ғылымдарының магистрі, С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: bshaymenova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5472-036X>.

**Линара Азаматқызы Мурат** – техника ғылымдарының магистрі, С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: linaraazamatkyzy@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5684-0621>.

**Светлана Георгиевна Каманова** – техника ғылымдарының магистрі, С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

**Гульназым Хамитовна Оспанкулова** – биология ғылымдарының кандидаты, С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

#### Information about the authors

**Saule Saduakhasova\*** – Candidate of Biological Sciences, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana city, Republic of Kazakhstan; e-mail: saule\_aru@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9483-5732>.

**Bakhyt Shaimenova** – Master of Technical Sciences, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana city, Republic of Kazakhstan; e-mail: bshaymenova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5472-036X>.

**Linara Murat** – Master of Technical Sciences, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana city, Republic of Kazakhstan; e-mail: linaraazamatkyzy@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5684-0621>.

**Svetlana Kamanova** – Master of Technical Sciences, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana city, Republic of Kazakhstan; e-mail: kamanovasveta@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9534-2721>.

**Gulnazym Ospankulova** – Candidate of Biological Sciences, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana city, Republic of Kazakhstan; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

Поступила в редакцию 04.07.2024

Поступила после доработки 12.09.2024

Принята к публикации 13.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-26](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-26)



MPHTI: 65.59.29

**Б.М. Искаков<sup>1\*</sup>, З.В. Капшакбаева<sup>2</sup>, С.А. Карденов<sup>1</sup>, С.Д. Токаев<sup>1</sup>,  
С.М. Тохтарова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, 010000, Республика Казахстан, г. Астана, проспект Женис, 62

<sup>2</sup>Университет Торайгыров, 140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, улица Ломова, 64

<sup>3</sup>Университет имени Шакарима города Семей, 071412, Республика Казахстан, г. Семей, улица Глинки, 20А

\*e-mail: [baissemey@bk.ru](mailto:baissemey@bk.ru)

### ВЛИЯНИЕ ПОРОШКА ЭКСТРАКТА ОБЛЕПИХИ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ, СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОТЛЕТНОГО ФАРША

**Аннотация:** В статье рассматривается влияние порошка экстракта облепихи на физико-химические свойства мясного фарша. Одним из ключевых аспектов исследования является активная кислотность фарша, которая напрямую зависит от концентрации добавленного порошка облепихи. Согласно результатам, увеличение содержания облепихи в фарше приводит к снижению показателя pH, что может способствовать сокращению срока хранения продукта. Оптимальной дозировкой было определено 4-5% порошка облепихи, что обеспечивает баланс между улучшением свойств и сохранением органолептических характеристик.

Также был исследован эффект порошка на влагоудерживающую способность фарша. Показано, что увеличение количества порошка облепихи сначала способствует улучшению влагосвязывания, но при превышении определенного порога (более 10%) это свойство начинает снижаться. Таким образом, важно учитывать дозировку, чтобы не ухудшить качество конечного продукта.

*Еще одним важным параметром является предельное напряжение на сдвиге. Исследования показали, что на начальном этапе добавления облепихи этот показатель остается стабильным, однако при длительном перемешивании начинает снижаться, что связано с изменением структуры фарша и уменьшением его пластичности. Оптимальное время перемешивания составляет 3-5 минут, что обеспечивает достижение необходимой консистенции и предотвращает разрушение структурно-механических характеристик продукта.*

*Осылайша, ет турамагына жабайы шырғанақ ұнтағын қосу қышқылдыққа, ылғалға және механикалық қасиеттерге айтарлықтай әсер етеді, ал өнімнің оңтайлы сапасына қол жеткізу үшін концентрация мен технологиялық режимдерді дәл сақтау маңызды.*

**Ключевые слова:** фарш, котлеты, облепиха, экстракт, порошок, кислотная активность, влагоудерживающая способность, структурно-механические свойства.

## **Введение**

В современных условиях разработки функциональных продуктов питания большое внимание уделяется использованию натуральных добавок, способных улучшать качество и безопасность пищевых изделий. Одной из таких добавок является порошок экстракта облепихи, который богат витаминами, антиоксидантами, полиненасыщенными жирными кислотами и другими биологически активными веществами. Введение порошка облепихи в рецептуры мясных продуктов, таких как котлетный фарш, привлекает внимание исследователей благодаря его потенциальному влиянию на физико-химические и структурно-механические свойства фарша, а также на его органолептические показатели.

Облепиха обладает антиоксидантными и противовоспалительными свойствами, что делает ее ценным компонентом для пищевой промышленности [1]. Ряд исследований показал, что использование порошка облепихи в мясных изделиях позволяет улучшить их текстуру, влагосодержание, а также повысить устойчивость к окислению жиров, что критически важно для продления срока хранения полуфабрикатов [2, 3]. Введение экстрактов растительных добавок в фарш способствует увеличению его водоудерживающей способности, что улучшает сочность готового продукта, не снижая его плотности и структурной целостности [4-6].

Кроме того, облепиха может улучшать реологические свойства мясного фарша, влияя на его консистенцию, пластичность и вязкость. Такие изменения в структуре связаны с воздействием антиоксидантов и клетчатки, содержащихся в облепихе, на белково-жировую эмульсию мясного продукта. Исследования показывают, что порошок облепихи способствует более равномерному распределению влаги внутри мясной массы, что улучшает структурные характеристики полуфабрикатов и повышает их качество [7].

Не менее важным аспектом является влияние порошка облепихи на органолептические характеристики мясных изделий. Добавление облепихи может придавать продуктам легкий кисловатый вкус, что улучшает восприятие потребителями и делает продукт более интересным на фоне традиционных мясных блюд. При этом важно точно подбирать концентрацию добавки, чтобы избежать чрезмерного изменения вкуса и текстуры. По данным Сапроновой и коллег, оптимальная дозировка порошка облепихи составляет около 5% от массы фарша, что обеспечивает максимальный эффект без негативных последствий для органолептических характеристик [8, 9].

Таким образом, использование порошка экстракта облепихи в производстве котлетного фарша является перспективным направлением для улучшения как физических, так и химических показателей продукта.

Влияние облепихи на влагосодержание, антиоксидантную активность, текстуру и вкус делает ее эффективным компонентом для создания функциональных мясных изделий с улучшенными характеристиками, что способствует повышению их потребительской ценности и безопасности [10].

## **Методы исследования**

Структурно-механические свойства были исследованы методом пенетрации предельного напряжения сдвига фарша с помощью конусного структурометра, эффективная вязкость – с помощью модернизированного ротационного измерителя вязкости (вискозиметра) РВ-8 (Россия).



Ығысудың шекті кернеуі келесі формула бойынша анықталды:

$$\theta_o = K \cdot \frac{F}{h^2}, \quad (1)$$

где

F – значение нагрузки, Н;

h – общая глубина погрузки в конус, м;

K – константа  $\alpha$ -конуса, зависящая от угла конуса на высоте.

Константа, применяемая к конусу прибора с углом  $\alpha$ , равным высоте, рассчитывалась по формуле:

$$K = \frac{\cos^2(\alpha/2)}{\pi \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол на кончике конуса.

Активную кислотность среды (рН) принимают на паратипном приборе рН-метра, погружая два электрода в раствор, указанную на шкале прибора величину.

Раствор с соотношением воды 1:10, водный экстракт, готовили из измельченного продукта после настаивания в течение получаса при температуре 20 °С.

Определение влагоудерживающей способности. Данный метод основан на определении количества влажного пятна на фильтровальной бумаге по площади, оставшейся на фильтровальной бумаге, путем легкого прессования влаги исследуемого образца.

### Результаты исследований

Известно, что состав и свойства любых мясных продуктов изменяются из-за добавления посторонних веществ. Химические, физико-химические показатели и пищевая, биологическая ценность мясных полуфабрикатов при добавлении в их состав растительного, животного и другого сырья на основе их показатели и ценности меняются в положительную или отрицательную сторону, можно увидеть в работах ученых мясной отрасли. Кроме того, пищевые добавки, включаемые в состав мясных полуфабрикатов, оказывают указанное выше влияние и на технологические процессы при производстве продукции.

Технология получения порошка из экстракта облепихи был описан в предыдущих научных работах авторов [11].

Чтобы порошок из экстракта облепихи, добавленный в состав котлетного фарша, мы исследовали его количество, добавив 2, 3, 5, 10 и 20%. Результат исследования показан на рисунке 1 ниже.



Рисунок 1 – Зависимость кислотной активности от количества порошка облепихи, содержащегося в образце фарша

Увеличение значения рН продукта, который в целом в готовых мясных продуктах, напрямую влияет на его влагоудерживающую способность. Чем больше в состав продукта мы добавим растительную смесь, тем больше будет изменено ее значение рН и влагоудерживающая способность. Из рисунка 1 видно, что при добавлении 2, 3, 5, 10 и 20% порошка облепихи, содержащегося в мясорастительной котлете, значение ее рН снизилось. Если добавить 2, 3, 5, 10 и 20% порошка облепихи, значение рН будет продолжать расти вместе и сокращать срок хранения продукта. Это связано с тем, что по мере приближения рН кислой среды к щелочной среде в продукте создается благоприятная среда для размножения микроорганизмов в нем. Поэтому достаточно добавить в образец фарша от 4 до 5% порошка, полученного из экстракта облепихи.

Можно проанализировать зависимость влагоудерживающих свойств порошка облепихи в составе образца фарша. Выявлена необходимость включения в состав готового продукта экстракта облепихи только в определенном количестве. Причина в том, что экстракт, добавленный в состав готового продукта, не постоянно улучшает его влагоудерживающие свойства. На рисунке 2 показано влияние порошка облепихи, содержащегося в мясорастительной котлете, на влагосоединяющие свойства.

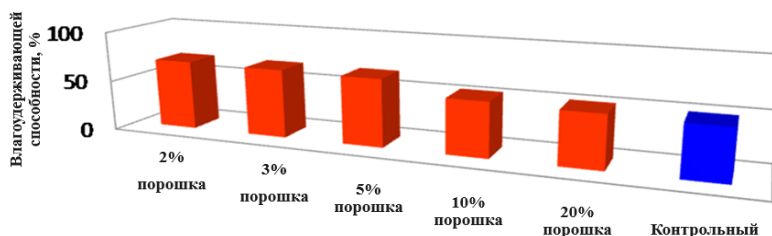


Рисунок 2 – Зависимость порошка облепихи, содержащегося в фарше от влагоудерживающей способности

Как видно из рисунка 2, если мы добавим в состав продукта слишком большое количество порошка облепихи, его влагосвязывающая способность снизится.

По мере увеличения количества порошка облепихи, содержащегося в котлетах фарша, начинают меняться и его структурно-механические показатели. Изменение этих свойств напрямую влияет на пищевые свойства готового продукта. Известно, что при изменении структурно-механических свойств снижается его качественная ценность при хранении, неудобствах при транспортировке и т.д. Единственная причина изменения структурно-механических свойств заключается в том, что его необходимо смешивать с целью получения желаемой однородной консистенции. Во время этого процесса происходят изменения предельного напряжения при смешивании фарша. Поэтому при смешивании с целью получения известной консистенции с добавлением порошка из экстракта облепихи в необходимо глубоко изучить влияние на нее продолжительности процесса.

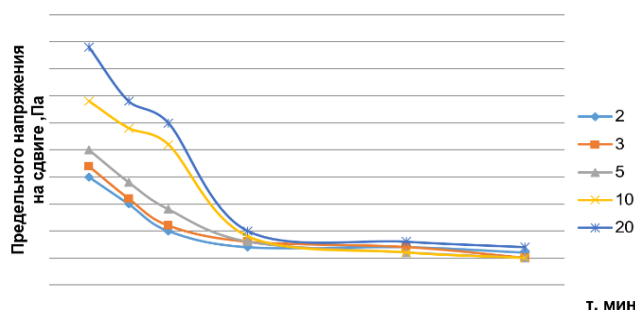


Рисунок 3 – Показатель предельного напряжения на сдвиге порошка облепихи, содержащегося в фарше

Как видно из рисунка 3 показаний предельного напряжения порошка из облепихи, содержащегося в фарше, с добавлением количества порошка из облепихи мы убедились, что на начальном этапе проведения перемешивания значение предельного напряжения из облепихи остается постоянным, а по мере увеличения времени длительности перемешивания его значение продолжает уменьшаться. Когда общая масса фарша смешивается, достигая своей постоянной консистенции, ее предельное напряжение на сдвиге начинает стабилизироваться. Нам не нужно продолжать перемешивание в течение длительного времени, так как по технологическому режиму перемешивание котлет должно длиться не более 3-5 минут, как указано в технологической инструкции.

В результате измельчения соединений в структуре продукта в процессе перемешивания ослабляются связи между ними, снижается способность образовывать предельное напряжение. Явление снижения структурно-механических показателей валовой продукции основано на увеличении процента в общей дисперсной системе по объемному процентному соотношению дисперсных структур в ней.

## Заклучение

Исследование показало, что добавление порошка из экстракта облепихи в мясной фарш значительно влияет на его химические и физико-химические свойства. Оптимальная концентрация экстракта составляет 4-5%, что обеспечивает баланс между кислотной активностью и влагоудерживающей способностью. Превышение этой концентрации негативно сказывается на структурно-механических характеристиках продукта и его технологическом процессе. Важно соблюдать рекомендованное время перемешивания фарша для достижения однородной консистенции и предотвращения ухудшения его свойств. Результаты подчеркивают необходимость точного контроля за добавляемым количеством экстракта для поддержания высоких качественных показателей мясных полуфабрикатов.

## Список литературы

1. Сапронова Е.В. Влияние внесения порошка облепихи на физико-химические и органолептические свойства нового вида хлеба / Е.В. Сапронова, К.В. Брыксина, О.В. Перфилова // Наука и Образование. – 2024. – Т. 7, № 2.
2. Слащева А.В. Quality and safety of semi-finished vegetable and berry pure / А.В. Слащева, О.А. Боднарук, О.П. Переверзев // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2024. – Т. 48, № 1. – С. 23-31.
3. The utilization of new types of marinades based on fruit raw material for use in the technology of semi-finished rabbit meat / I. Simonova et al // Zywnosc. – 2024. – Т. 31, № 2.
4. Гунченко А.Е. Реологические свойства мясных полуфабрикатов и способности их регулирования / А.Е. Гунченко // Материалы X Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – 2018. – 13 с.
5. The effect of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries on parameters of quality raw cooked meat product / M. Bobko et al // Journal of microbiology, biotechnology and food sciences. – 2019. – Т. 9. – P. 366-369.
6. Bilberry and sea buckthorn leaves and their subcritical water extracts prevent lipid oxidation in meat products / S. Mäkinen et al // Foods. – 2020. – Т. 9, № 3. – P. 265.
7. Demidova E. Prospects for the use of wild berry processing products as functional food ingredients / E. Demidova, M. Samilyk // Food Science & Technology (2073-8684). – 2023. – Т. 17, № 4.
8. Vilas-Franquesa A. Potential of sea buckthorn-based ingredients for the food and feed industry – a review / A. Vilas-Franquesa, J. Saldo, B. Juan // Food Production, Processing and Nutrition. – 2020. – Т. 2. – P. 1-17.
9. Zinchenko R. Analysis of the use of plant components in the production of meat products / R. Zinchenko, Y. Slyva // Scientific Journal 'Animal Science & Food Technologies'. – 2022. – Т. 13, № 4.
10. Experimental studies of the effect of sea buckthorn and wheat bran in food on the physiological status of rats / O.S. Fomenko et al // Russian Open Medical Journal. – 2020. – Т. 9, № 3. – P. 304.
11. Исаков Б.М. Переработки дикой облепиховой продукции с помощью опытных установок / Б.М. Исаков, З.В. Капшакбаева, С.М. Тохтарова // Bulletin of LN Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series. – 2023. – Т. 145, № 4. – С. 67-74.

## References

1. Saponova E.V. Vliyanie vneseniya poroshka oblepikhi na fiziko-khimicheskie i organolepticheskie svoistva novogo vida khleba / E.V. Saponova, K.V. Bryksina, O.V. Perfilova // Nauka i Obrazovanie. – 2024. – Т. 7, № 2. (In Russian).
2. Slashcheva A.V. Quality and safety of semi-finished vegetable and berry pure / A.V. Slashcheva, O.A. Bodnaruk, O.P. Pereverzev // Obladnannya ta tekhnologii kharchovikh virobnitstv. – 2024. – Т. 48, № 1. – S. 23-31. (In English).
3. The utilization of new types of marinades based on fruit raw material for use in the technology of semi-finished rabbit meat / I. Simonova et al // Zywnosc. – 2024. – Т. 31, № 2. (In English).
4. Gunchenko A.E. Reologicheskie svoistva myasnykh polufabrikatov i sposobnosti ikh regulirovaniya / A.E. Gunchenko // Materialy X Mezhdunarodnoi studencheskoi nauchnoi konferentsii «Studencheskii nauchnyi foruM». – 2018. – 13 s. (In Russian).

5. The effect of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries on parameters of quality raw cooked meat product / M. Bobko et al // Journal of microbiology, biotechnology and food sciences. – 2019. – Т. 9. – Р. 366-369. (In English).
6. Bilberry and sea buckthorn leaves and their subcritical water extracts prevent lipid oxidation in meat products / S. Mäkinen et al // Foods. – 2020. – Т. 9, № 3. – Р. 265. (In English).
7. Demidova E. Prospects for the use of wild berry processing products as functional food ingredients / E. Demidova, M. Samilyk // Food Science & Technology (2073-8684). – 2023. – Т. 17, № 4. (In English).
8. Vilas-Franquesa A. Potential of sea buckthorn-based ingredients for the food and feed industry – a review / A. Vilas-Franquesa, J. Saldo, B. Juan // Food Production, Processing and Nutrition. – 2020. – Т. 2. – Р. 1-17. (In English).
9. Zinchenko R. Analysis of the use of plant components in the production of meat products / R. Zinchenko, Y. Slyva // Scientific Journal 'Animal Science & Food Technologies'. – 2022. – Т. 13, № 4. (In English).
10. Experimental studies of the effect of sea buckthorn and wheat bran in food on the physiological status of rats / O.S. Fomenko et al // Russian Open Medical Journal. – 2020. – Т. 9, № 3. – Р. 304. (In English).
11. Iskakov B.M. Pererabotki dikoi oblepikhovoi produktsii s pomoshch'yu opytnykh ustanovok / B.M. Iskakov, Z.V. Kapshakbaeva, S.M. Tokhtarova // Bulletin of LN Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series. – 2023. – Т. 145, № 4. – С. 67-74. (In Russian).

### **Информация о финансировании**

*Данное исследование выполнено в рамках грантового финансирования молодых ученых по научным и (или) научно-техническим проектам АР19579440 – «Разработка технологии мясных полуфабрикатов с использованием природных растительных ресурсов восточного региона Казахстана, обладающих антиоксидантными свойствами», финансируемой Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан.*

**Б.М. Искаков<sup>1\*</sup>, З.В. Капшакбаева<sup>2</sup>, С.А. Карденов<sup>1</sup>, С.Д. Токаев<sup>1</sup>, С.М. Тохтарова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,  
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жеңіс даңғылы, 62

<sup>2</sup>Торайғыров университеті,  
140008, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломова көшесі, 64

<sup>3</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки көшесі, 20А

\*e-mail: baissemey@bk.ru

### **КОТЛЕТ ФАРШЫНЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ, ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ШЫРҒАНАҚ ҰНТАҒЫНЫҢ ӘСЕРІ**

*Мақалада жабайы шырғанақ сығындысы ұнтағының тартылған еттің физика-химиялық қасиеттеріне әсері қарастырылады. Зерттеудің негізгі аспектілерінің бірі-тартылған еттің белсенді қышқылдығы, ол қосылған жабайы шырғанақ ұнтағының концентрациясына тікелей байланысты. Нәтижелерге сәйкес, жабайы шырғанағының тартылған ет құрамының артуы рН көрсеткішінің төмендеуіне әкеледі, бұл өнімнің сақтау мерзімінің қысқаруына ықпал етуі мүмкін. Оңтайлы доза 4-5% жабайы шырғанақ ұнтағымен анықталды, бұл қасиеттерді жақсарту мен органолептикалық сипаттамаларды сақтау арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді.*

*Ұнтақтың тартылған еттің ылғал ұстау қабілетіне әсері де зерттелді. Жабайы шырғанақ ұнтағының көбеюі алдымен ылғалдың байланысын жақсартуға көмектесетіні көрсетілген, бірақ белгілі бір шектен асқанда (10% - дан астам) бұл қасиет төмендей бастайды. Осылайша, соңғы өнімнің сапасына нұқсан келтірмеу үшін дозаны ескеру қажет.*

*Тағы бір маңызды параметр, шекті ығысу кернеуін зерттеулер көрсеткендей, жабайы шырғанағын қосудың бастапқы кезеңінде бұл көрсеткіш тұрақты болып қалады, бірақ ұзақ араластыру кезінде ол төмендей бастайды, бұл тартылған ет құрылымының өзгеруіне және оның икемділігінің төмендеуіне байланысты. Оңтайлы араластыру уақыты 3-5 минутты құрайды, бұл қажетті консистенцияға қол жеткізуге мүмкіндік береді және өнімнің құрылымдық-механикалық сипаттамаларының бұзылуына жол бермейді.*

Осылайша, ет турамасына жабайы шырғанақ ұнтағын қосу қышқылдыққа, ылғал мен механикалық қасиеттерге айтарлықтай әсер етеді, ал өнімнің оңтайлы сапасына қол жеткізу үшін концентрация мен технологиялық режимдерді дәл сақтау маңызды.

**Түйін сөздер:** тартылған ет, котлеттер, жабайы шырғанағы, сығынды, ұнтақ, қышқыл белсенділігі, ылғал ұстау қабілеті, құрылымдық-механикалық қасиеттері.

**B.M. Iskakov<sup>1\*</sup>, Z.V. Kapshakbaeva<sup>2</sup>, S.A. Kardenov<sup>1</sup>, S.D. Tokayev<sup>1</sup>, S.M. Tokhtarova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,  
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Genis Avenue, 62

<sup>2</sup>Toraigyrov University,  
010000, Republic of Kazakhstan, Pavlodar, Lomova Street, 64

<sup>3</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka Street, 20 A

\*e-mail: baisesmey@bk.ru

## **INFLUENCE OF SEA BUCKTHORN EXTRACT POWDER ON PHYSICO-CHEMICAL, STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MINCED MEAT MINCE**

*The article examines the effect of sea buckthorn extract powder on the physico-chemical properties of minced meat. One of the key aspects of the study is the active acidity of the minced meat, which directly depends on the concentration of the added sea buckthorn powder. According to the results, an increase in the content of sea buckthorn in minced meat leads to a decrease in the pH value, which can help reduce the shelf life of the product. The optimal dosage was determined by 4-5% of sea buckthorn powder, which provides a balance between improving properties and maintaining organoleptic characteristics.*

*The effect of the powder on the moisture-retaining ability of minced meat was also investigated. It has been shown that an increase in the amount of sea buckthorn powder initially improves moisture binding, but when a certain threshold is exceeded (more than 10%), this property begins to decrease. Thus, it is important to consider the dosage in order not to worsen the quality of the final product.*

*Another important parameter is the shear stress limit. Studies have shown that at the initial stage of adding sea buckthorn, this indicator remains stable, but with prolonged stirring it begins to decrease, which is associated with a change in the structure of the minced meat and a decrease in its plasticity. The optimal mixing time is 3-5 minutes, which ensures the achievement of the required consistency and prevents the destruction of the structural and mechanical characteristics of the product.*

*Thus, the addition of sea buckthorn powder to minced meat has a significant effect on acidity, moisture content and mechanical properties, while it is important to accurately observe the concentration and technological modes to achieve optimal product quality.*

**Key words:** minced meat, cutlets, sea buckthorn, extract, powder, acid activity, moisture-retaining ability, structural and mechanical properties.

### **Сведения об авторах**

**Бауыржан Мырзабекович Искаков\*** – PhD, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, преподаватель кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств», e-mail: baisesmey@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7939-0210>.

**Зарина Владимировна Капшакбаева** – PhD, Университет Торайгыров, асс. профессор кафедры «Биотехнология», e-mail: z.k.87@mail.ru.

**Серик Аскербекович Карденов** – к.т.н., Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, и.о. асс. профессор кафедры «Технологии пищевых и перерабатывающих производств», e-mail: serik.69@mail.ru

**Серик Дүйсенғалиевич Токаев** – к.т.н., Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, старший преподаватель кафедры «Технологии пищевых и перерабатывающих производств», e-mail: tokaev\_sd@mail.ru.

**Самал Маратовна Тохтарова** – докторант, Университет Шакарима, кафедра «Технологические оборудования», e-mail: zhaiyk\_samal@mail.ru.

### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Бауыржан Мырзабекович Искаков\*** – PhD, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының оқытушысы, e-mail: baisesmey@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7939-0210>.

**Зарина Владимировна Капшакбаева** – PhD, Торайгыров университеті, «Биотехнология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, e-mail: z.k.87@mail.ru.

**Серік Әскербекович Карденов** – т.ғ.к., С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а., e-mail: serik.69@mail.ru.

**Серік Дүйсенғалиевич Тоқаев** – т.ғ.к., С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, e-mail: tokaev\_sd@mail.ru.

**Самал Маратовна Тохтарова** – докторант, Шәкәрім университеті, «Технологиялық жабдықтар» кафедрасы, e-mail: zhaiyk\_samal@mail.ru.

#### Information about the authors

**Bauyrzhan Myrzabekovich Iskakov\*** – PhD, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seyfullin, lecturer, Department of «Technology of food and processing industries», e-mail: baissemey@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7939-0210>.

**Zarina Vladimirovna Kapshakbaeva** – PhD, Toraigyrov University, ass. professor of department «Biotechnology», e-mail: z.k.87@mail.ru.

**Serik Askerbekovich Kardenov** – candidate of technical sciences, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seyfullin, acting assistant professor of the department of «Technology of food and processing industries», e-mail: serik.69@mail.ru.

**Serik Dyusengalievich Tokaev** – candidate of technical sciences., Kazakh agrotechnical research university named after S. Seyfullin, senior lecturer of department «Technologies of food and processing industries», e-mail: tokaev\_sd@mail.ru.

**Samal Maratovna Tokhtarova** – doctoral student, Shakarim University, Department of «Technological equipment», e-mail: zhaiyk\_samal@mail.ru.

Поступила в редакцию 12.08.2024  
Поступила после доработки 10.09.2024  
Принята к публикации 17.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-27](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-27)



MPHTI: 65.01.91

**K. Bekbayev<sup>1\*</sup>, A. Toleugazykyzy<sup>1</sup>, B. Bolkenov<sup>2</sup>, R. Iskakov<sup>1</sup>, N. Kazangarova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,  
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Zhenis avenue, 62

<sup>2</sup>Maqsut Narikbayev University,  
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Korgalzhinskoe shosse, 8

\*e-mail: k\_bekbaev@mail.ru

## VALORIZATION OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS BY DARK FERMENTATION: DEVELOPMENT OF EFFECTIVE CONDITIONS FOR MOLECULAR HYDROGEN BIOSYNTHESIS

**Abstract:** Valorization of lignocellulosic biomass (LB) is important to reduce their environmental impact and reduce the risk to human health. Conventional methods for handling secondary raw materials primarily focus on waste disposal, treating lignocellulosic biomass as waste rather than as a source of organic substances for producing value-added products. As an alternative, processes should be developed to add value to waste, producing value-added products with economic and environmental benefits. In this regard, studies have focused on operating parameters, pretreatment, and microbial fermentation to enhance hydrogen yield during dark fermentation. Upper (4%) and lower (20%) concentrations of distillery grain based substrates for biohydrogen synthesis using wild-type *E. coli* have been established. Conditions for rational formation of reducing sugars by varying feedstock and acid concentrations in distillery grain based substrates have been established. During the study of the effect of acid-hydrothermal treatment of stillage on the total yield of biohydrogen, it was found that the optimal concentration of sulfuric acid is 1,5%, while 10% of the raw material is used. Under these conditions, the maximum yield of molecular hydrogen was achieved, equal to 116 ±1,0 ml/l using wild-type *E. coli*.

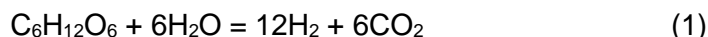
**Key words:** Valorization, distiller's grains, pre-treatment, dark fermentation, sugars, molecular hydrogen.

## Introduction

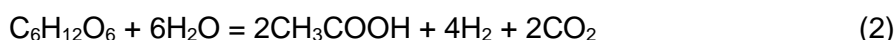
Lignocellulosic biomass is a common and cost-effective feedstock. It mainly consists of cellulose (33-55 wt %), hemicellulose (20-40 wt %), and lignin (10-25 wt %) [1]. Using lignocellulosic components as carbon and nutrient sources for the growth medium can reduce the cost of producing value-added products, increasing their competitiveness. Dark fermentation is widely recognized as an effective method for producing biohydrogen using biological processes [2]. Hydrogen is an attractive energy carrier due to its high energy density and is used as a feedstock in various chemical and food processes. In this regard, biohydrogen production has been actively researched by advanced research centers around the world in the past decade.

A thorough and comprehensive understanding of dark fermentation of lignocellulosic waste not only contributes to sustainable development and circular economy, but also opens up new opportunities for more efficient and environmentally friendly processes. The main components of polysaccharides, which make up a significant part of lignocellulosic biomass, are glucose and xylose. The conversion of xylose and glucose during the pretreatment step results in the formation of various compounds, including furfural and 5-hydroxymethylfurfural (HMF). Furfural and HMF are well known for their inhibitory effects in the field of microbial conversion [3]. Therefore, they hinder the final biohydrogen production process. In addition, pretreatment destroys hydrogenotrophic methanogenic archaea, which are H<sub>2</sub> consumers, in order to subsequently enrich the community with hydrogen-producing organisms [4].

During dark fermentation, biohydrogen is formed by two mechanisms. One of them occurs due to the catabolic transformation of formic acid, and the other is due to the re-oxidation of nicotinamide adenine dinucleotide hydride (NADH), which is catalyzed by the hydrogenase pathway [5]. Theoretically, the complete conversion of 1 mole of glucose leads to the formation of 12 moles of hydrogen atoms.



However, it has been reported that the practical yield of hydrogen during dark fermentation only reaches up to 4 mol [6]. In this case, the by-products of the reaction are organic acids [7]:



Accordingly, this technology demonstrates the efficiency and ability to meet future needs for valorization of lignocellulosic biomass by producing various value-added products. This is also evidenced by the fact that biohydrogen produced by dark fermentation has a comparatively higher rate and quantity than other methods. [8, 9].

In accordance with the UN strategy for sustainable development, one of the most serious challenges related to environmental, economic and social aspects is the minimization and valorization of agricultural processing waste [10].

According to statistics, there are 142 producers of ethyl alcohol and alcoholic beverages in Kazakhstan, seven of which produce only ethyl alcohol: LLP «Gold Pegasus» (Shymkent), LLP «Tau-Product» (Shymkent), LLP «ALPHA-2050» (Kostanay), LLP «Talgarspirit» (Talgar), LLP «entaur» (Kandyagash), LLP «Maximus» (Aktobe), JSC «Aidabulsky alcohol plant» (Aidabul v., Zerendi district) and LLP «Alfa Organic» (Stepnogorsk) [11]. Most of these plants currently operate on a “single-product” scheme, where only alcohol is obtained from the main raw material as a commercial product. At the same time, other components of the raw material go to waste. In Kazakhstan, with an average annual production of 18 million liters of ethyl alcohol, up to 2.43 million tons of distillery grain are released. However, it is likely that the numerical values for such an assumption vary depending on the production process used, although there is no special study indicating these ranges. It should also be noted that these by-products are perishable products, the shelf life of which is no more than 24 hours from the moment of production, after which the stillage sours, loses its useful properties and toxins accumulate in it.

The current industrialization model is insufficient to maintain a safe and clean environment. Therefore, there is a need to create waste valorization systems in industry [12]. In accordance with the principles of bioeconomics, stillage should be converted into value-added products, including a unique product – biohydrogen. It should be noted that a small part of domestic plants process post-alcohol stillage into dry feed or fertilizer. Direct use of stillage as a feed additive for farm animals is carried out only partially through its purchase in its native form by entrepreneurs working in rural areas or private owners. However, such use is not effective, since it requires additional processing and is seasonal, which creates problems with storage and transportation costs.

## Materials and methods

The mass fraction of carbohydrates in the raw material was determined by the permanganate method, based on the ability of reducing sugars to reduce copper oxide to copper oxide in an alkaline solution. Sugars were determined by reducing iron (III) with copper (I) and subsequent titration of iron (II) with potassium permanganate [13]. The analysis of total dry matter (TS) and volatile solids (VS) was carried out in accordance with the work [14].

The carbohydrate composition of the distillery grain and its substrates was determined by high-performance liquid chromatography (HPLC) [15]. Organic acids in the distillery dregs and its substrates were determined by capillary electrophoresis [16]. The presence of furfural in the substrates was determined according to GOST 32013-2012. Furfural in the substrates was determined by the HDR method based on the reaction of furfural with hydroxylamine hydrochloride. Oxymethylfurfural in the substrates was determined according to GOST 19792-2001 [17].

To perform preliminary treatment and microbial fermentation, the following operations were performed:

- Preparation of the distillery grain solution by mixing it with distilled water and treating it with sulfuric acid with a fraction for  $5 \pm 1$  minutes;
- Carrying out acid-hydrothermal treatment using an autoclave at a temperature of  $121^\circ \text{C}$  (1.1 atm) and with a duration of 20 minutes;
- Filtration of solid residues from the hydrolyzate by separation using a set of sieves with hole diameters of  $0,01 \div 1,0$  mm;
- Neutralization of the hydrolyzate using KOH to pH 7,5;
- Mechanical purification of hydrolyzate from colloidal impurities by centrifugation at  $g=3782$ ,  $w=4200$  rpm;  $t=4^\circ\text{C}$ ;  $\tau_{\text{center.}} = 15$  МИН;
- Final processing of hydrolyzate using an autoclave at a temperature of  $121^\circ\text{C}$  (1,1 atm) and with a duration of 20 minutes;
- Preparation of inoculum (bacterial culture) with the composition: peptone – 20 g/l; potassium hydrogen phosphate – 2 g/l; sodium chloride – 5 g/l. The temperature of bacterial culture cultivation is  $t=37^\circ\text{C}$  for  $18 \div 20$  h.
- Introduction of inoculum into hydrolyzate prepared from stillage with a volume fraction of 3%;
- Synthesis and production of biohydrogen by anaerobic fermentation with *E. coli* strains at a temperature of  $37^\circ\text{C}$ .

## Results and discussions

As part of the study, an analysis of the biochemical composition of the distillery grains (Table 1) obtained from the «Alfa Organic» Malt Distillery LLC (Akmola Region, Stepnogorsk) was conducted.

Table 1 – Biochemical composition of distillery grains

Name of indicators, units of measurement	Actual results	Regulatory documentation on test methods
Physicochemical parameters:		
– moisture content, %	90,57	GOST 13496.3-92
– carbohydrate content, %	10,25	Permanganate method
– protein content, %	4,045	GOST 13496.4-93
– ash content, %	0,21	GOST 26226-95
Carbohydrate composition, %:		
– maltose content	3,82	GOST 13496.3-92
– glucose content	4,53	
– fructose content	4,09	
Organic acids, mg/l		
oxalic acid	0,395	M 04-47-2007
lactic acid	0,850	
succinic acid	0,215	
- acetic acid	0,055	

Due to its high carbohydrate content, distillery grain is the most suitable raw material for the production of bioproducts using dark fermentation. The efficiency of dark fermentation of



carbohydrate-containing waste in the process of biohydrogen production depends on several key factors: the composition of the substrate, microorganisms, parameters and conditions of pre-treatment (temperature, pressure, duration of hydrolysis, pH,) and microbial synthesis, etc. The composition of carbohydrate substrates can be more or less suitable for bacteria involved in the dark fermentation process. Therefore, in order to achieve maximum efficiency of dark fermentation of carbohydrate waste, it is necessary to study the conditions for effective biohydrogen synthesis.

In this regard, the effect of acid-hydrothermal treatment of distillery grain on the efficiency of microbial fermentation was studied. The concentrations of raw materials and sulfuric acid, and the duration of acid hydrolysis were determined as variable factors of acid-hydrothermal treatment of distillery grain. In accordance with this, experiments were conducted to determine the smallest and largest values of the variable factors in the release of biohydrogen. In particular, the minimum and maximum values were established: the concentration of distillery grain (4÷20%) and sulfuric acid (0,75÷3%), the duration of acid hydrolysis (120÷240 minutes). The efficiency of biohydrogen synthesis was assessed by measuring the following parameters: (1) the oxidation-reduction potential of the substrate using an ion meter with a platinum electrode, which allows measuring the oxidation power of hydrogen ions; (2) the cumulative yield of biohydrogen.

The results of the study of dark fermentation of a substrate based on a 4% fraction of distillery grain using wild-type *E. coli* showed that when using sulfuric acid with a fraction of: (i) 0,75%, biohydrogen molecules are synthesized in the period from 3 (±0,05) to 6 (±0,05) hours of fermentation; (ii) 1,5%, biohydrogen molecules are synthesized only at 6 (±0,05) hours of fermentation; (iii) 3%, biohydrogen molecules are synthesized in the period from 6 (±0,05) to 24 (±0,05) hours of fermentation.

The results of the study of dark fermentation of a substrate based on a 20% fraction of distillery grain using wild-type *E. coli* showed that when using sulfuric acid with a fraction of: (i) 0,75%, biohydrogen molecules were not detected during the fermentation period; (ii) 1,5%, biohydrogen molecules were synthesized in the period from 3 to 6 hours of fermentation; (iii) 3%, biohydrogen molecules were synthesized only at 6 (±0.05) hours of fermentation.

Thus, the maximum and minimum values of the proportion of raw materials and acid in the substrate based on stillage for the synthesis of biohydrogen using wild-type *E. coli* were determined:

- In the case of using a substrate based on a 4% fraction of distillery grain, the longest synthesis (6-24 (±0,05) hours) of biohydrogen was achieved in a sample where the treatment was carried out with sulfuric acid with a fraction of 3%. In this case, the pH of this sample during the biohydrogen synthesis period changed from 5,88 ±0,1 to 5,79 ±0,1. However, the proportion of acid in the substrate in such an amount is quite high.

- In the case of using a substrate based on 20% of distillery grain, the longest release of hydrogen in the period from 3 (±0,05) to 6 (±0,05) hours of fermentation was achieved in the sample where the treatment was carried out with acid with a share of 1,5%. In this case, the pH of this sample during the synthesis of biohydrogen changed from 6,01 ±0,1 to 5,48 ±0,1, which is the most favorable for hydrogen-producing bacteria. However, the share of raw materials in such an amount creates technological difficulties in obtaining the supernatant at the stage of preliminary processing and conditions for an excessive increase in producers during microbial fermentation.

The total yield of biohydrogen ( $V_{T.Y.}$ ) was analyzed during the fermentation of hydrolysates with minimum (4%) and maximum (20%) fractions of distillery grain, at which biohydrogen synthesis occurred in accordance with Figure 1.

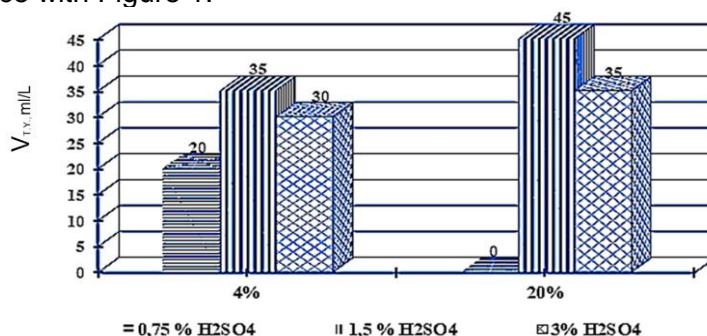


Figure 1 – Total hydrogen yield (ml/l) when using dilute sulfuric acid with fractions of 0,75%, 1,5% and 3% and wild-type *E. coli* for the treatment of substrates based on 4% and 20% fractions of distillery grain

Based on Figure 1, it can be stated that in the cases under consideration, the most effective treatment of the distillery grain was also with sulfuric acid at a concentration of 1,5%, where the maximum yield was  $45 \pm 1,0$  ml/l.

In this regard, the conditions for obtaining a hydrolyzate with a rational ratio of sugars were further studied by selecting the most suitable indicators for acid-hydrothermal treatment of distillery grain using wild-type *E. coli* for fermentation. In accordance with Figure 2, the dependence of the change in oxidation-reduction potential (ORP) and pH on the duration ( $\tau_f$ ) of fermentation (at  $t = 37$  °C, pH 7.5) of the substrate based on 10% of stillage using wild-type *E. coli* is presented.

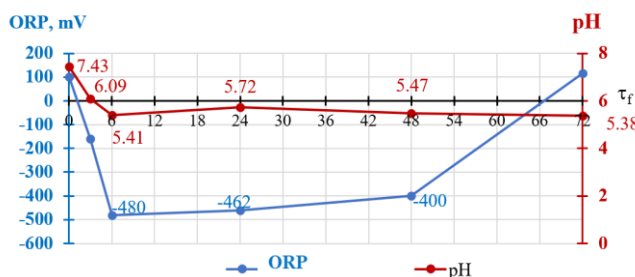


Figure 2 – Dependence of the change in oxidation-reduction potential (ORP) and pH on the duration ( $\tau_f$ ) of microbial fermentation (at  $t=37^\circ\text{C}$ , pH 7.5) of a substrate based on 10% of the fraction of distillery grain using wild-type *E. Coli*

As can be seen from Figure 2, the use of the established parameters of substrate pretreatment allowed us to significantly improve the results of exploratory experiments on biohydrogen synthesis. In particular, biohydrogen synthesis began at 3 o'clock and was prolonged to 48 hours of fermentation, while the total yield of biohydrogen was  $116 \pm 1,0$  ml / l. The principle underlying the use of acid-hydrothermal treatment is also that some bacteria are able to form spores under harsh conditions of temperature, pH, etc., and the formed endospores survive under extreme conditions of pretreatment, unlike non-spore-forming bacteria, which are suppressed.

### Conclusions

When studying the effect of acid-hydrothermal treatment of distillery grain on the total yield of biohydrogen, it was found that the most effective proportion of sulfuric acid is 1,5% when using 10% of the raw material, where the highest yield of molecular hydrogen corresponded to  $116 \pm 1,0$  ml/l. Thus, the established conditions of acid-hydrothermal treatment of distillery grain contributed to an increase in  $\text{H}_2$  producers while suppressing  $\text{H}_2$  consumers during dark fermentation, and stimulating the yield of biohydrogen.

### References

1. Environmental and human health impact of disposable face masks during the COVID-19 pandemic: wood-feeding termites as a model for plastic biodegradation / R. Al-Tohamy et al // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 2023. – № 195.3. – P. 2093-2113.
2. Biohythane and organic acid production from food waste by two-stage anaerobic digestion: a review within biorefinery framework / S. Dangol et al // International Journal of Environmental Science and Technology // 2022. – № 19.12. – P. 12791-12824.
3. An Overview on Production of Lignocellulose-Derived Platform Chemicals Such as 5-Hydroxymethyl Furfural, Furfural, Protocatechuic Acid / P.P. Upare et al // Processes. – 2023. – № 11.10. – P. 2912.
4. Current perspectives, future challenges and key technologies of biohydrogen production for building a carbon-neutral future: A review / N.T. Sahrin et al // Bioresource Technology. – 2022. – № 364. – P. 128088.
5. Metabolic Pathways for Microalgal Biohydrogen Production: Current Progress and Future Prospectives / M.M. El-Dalatony et al // Bioresour. – 2020. – № 318. – P. 124253. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124253>.
6. Akhlaghi N. A comprehensive review on biological hydrogen production / N. Akhlaghi, Gh. Najafpour-Darzi // International Journal of Hydrogen Energy. – 2020. – № 45.43. – P. 22492-22512.

7. Harnessing recalcitrant lignocellulosic biomass for enhanced biohydrogen production: Recent advances, challenges, and future perspective / Ali Sameh S. et al // *Biotechnology Advances*. – 2024. – P. 108344.
8. Green Technology for Sustainable Biohydrogen Production (Waste to Energy): A Review. *Sci. Total Environ.* – № 728. – P. 138481. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138481>.
9. Adopting the circular economy approach on food loss and waste: The case of Italian pasta production / L. Principato et al // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2019. – Т. 144. – P. 82-89.
10. <https://kaztag.kz/ru/news/v-kazakhstan-27-ip-proizvodyat-etilovyy-spirta-i-alkogolnuyu-produktsiyu-mf->
11. Cereal processing waste, an environmental impact and value addition perspectives: A comprehensive treatise / G. Hassan et al // *Food Chemistry*. – 2021. – Т. 363. – P. 130352.
12. GOST 25832-89. Izdeliya khlebobulochnye. Tekhnicheskie usloviya. – M.: Standartinform, 2009. – 15 s.
13. Standard methods for the examination of water and wastewater / E.W. Rice et al // Washington, DC : American public health association. – 2012. – Т. 10.
14. GOST 31669-2012 Produktsiya sokovaya. Opredelenie sakharozy, glyukozy, fruktozy i sorbita metodom vysokoeffektivnoi zhidkostnoi khromatografii: vved. 2013-07-01. – M.: Standartinform, 2019. – 16 s.
15. М 04-47-2007 Metodika vypolneniya izmerenii massovoi kontsentratsii organicheskikh kislot v bezalkogol'nykh i alkogol'nykh napitkakh metodom kapillyarnogo ehlektroforeza s ispol'zovaniem sistemy kapillyarnogo ehlektroforeza «Kapel'». – Attestovana Ural'skim NII metrologii. – Svid-vo № 223.1.04.35/2007 ot 29.05.2007. – SPb., 2007. – 33 s.
16. GOST 19792-2001 Med natural'nyi. Tekhnicheskie usloviya. Vved. 2002-07-01. – M.: Standartinform, 2011. – 18 s.

### Funding information

*This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19677558).*

**К. Бекбаев<sup>1\*</sup>, А. Төлеуғазықызы<sup>1</sup>, Б. Болкенов<sup>2</sup>, Р. Искаков<sup>1</sup>, Н. Казангапова<sup>1</sup>**

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,  
010000, Қазақстан Республикасы, Астана, Жеңіс даңғылы, 62

<sup>2</sup>М.С. Нарықбаев атындағы КАЗГЮУ университеті,  
010000, Қазақстан Республикасы, Астана, Қорғалжын тасжолы, 8

\*e-mail: k\_bekbaev@mail.ru

### **ҚАРАҒЫ АШЫТУ АРҚЫЛЫ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗАЛЫ БИОМАССАСЫНЫ ВАЛОРИЗАЦИЯЛАУ: МОЛЕКУЛАЛЫҚ СУТЕГІ БИОСИНТЕЗДЕУДІҢ ТИІМДІ ЖАҒДАЙЛАРЫН ЖАСАУ**

*Лигноцеллюлозалы биомассаса (ЛБ) валоризациялау олардың қоршаған ортаға әсерін және адам денсаулығына қауіпін азайту үшін маңызды. Қайта өңдеудің дәстүрлі әдістері, ең алдымен, лигноцеллюлозалы биомассаны органикалық заттардың құны жоғарылатылған өнім өндіру кезі ретінде емес, қалдық ретінде қарастыра отырып, қалдықтарды жоюға бағытталған. Сонымен қатар, экономикалық және экологиялық артықшылықтары бар құны жоғарылатылған өнімдер өндіретін үдерістерді әзірлеу қажет. Осыған байланысты, зерттеулер қараңғы ашыту кезінде сутектің шығымын арттыру мақсатында жұмыс параметрлеріне, алдын ала өңдеуге және микробтық ашытуға бағытталған. Бардаға негізделген субстраттардан жабайы типті *E. coli* көмегімен биосутек синтезі жүретін шикізаттың төменгі (4%) және жоғарғы (20%) концентрациялары анықталды. Спирттен кейінгі астық бардасына негізделген субстраттардағы шикізат пен қышқыл концентрациясының өзгеруі арқылы төмендететін қанттардың ұтымды қалыптасуының тиімді жағдайлары жасалды. Барданы қышқыл-гидротермиялық өңдеудің биосутектің жалпы өнімділігіне әсерін зерттеу барысында күкірт қышқылының тиімді концентрациясы 1,5%, шикізаттың 10% үлесі пайдаланылатыны анықталды. Мұндай жағдайларда жабайы типті *E. coli* көмегімен молекулалық сутектің максималды шығымы 116 ± 1,0 мл/л-ге жетті.*

**Түйін сөздер:** Валоризация, спирттен кейінгі барда, алдын ала өңдеу, қараңғы ферментациялау, қанттар, молекулалық сутек.

**К. Бекбаев<sup>1\*</sup>, А. Төлеуғазықызы<sup>1</sup>, Б. Болкенов<sup>2</sup>, Р. Исаков<sup>1</sup>, Н. Казангапова<sup>1</sup>**  
Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина,  
010000, Республика Казахстан, Астана, проспект Жеңіс, 62  
<sup>2</sup>Университет КАЗГЮУ имени М.С. Нарикбаева,  
010000, Республика Казахстан, Астана, Коргалжинское шоссе, 8  
\*e-mail: k\_bekbaev@mail.ru

## **ВАЛОРИЗАЦИЯ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ БИОМАССЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕМНОВОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ: ВЫРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ УСЛОВИЙ БИОСИНТЕЗА МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА**

*Валоризация лигноцеллюлозной биомассой (ЛБ) имеет важное значение для снижения их воздействия на окружающую среду и снижения опасности для здоровья человека. Традиционные подходы к обработке вторичных сырьевых материалов в основном сосредоточены на утилизации, рассматривая лигноцеллюлозную биомассу как отход, а не как ценный ресурс для создания продуктов с добавленной стоимостью. В качестве альтернативы следует разработать процессы добавления стоимости отходам, производящим продукты с добавленной стоимостью, имеющие экономические и экологические преимущества. В этой связи, исследования были сосредоточены на рабочих параметрах, предварительной обработке и микробной ферментации с целью увеличения выхода водорода во время темной ферментации. Установлены верхние (4%) и нижние (20%) концентрации субстратов на основе барды, при котором происходит синтез биоводорода с применением *E. coli* дикого типа. Установлены условия для рационального формирования редуцирующих сахаров за счет вариации концентраций сырья и кислоты в субстратах на основе послеспиртовой зерновой барды. В ходе исследования воздействия кислотной гидротермальной обработки барды на общий выход биоводорода было установлено, что оптимальная концентрация серной кислоты составляет 1,5%, при этом используется 10% доля сырья. При таких условиях был достигнут максимальный выход молекулярного водорода, равный  $116 \pm 1,0$  мл/л с применением *E. coli* дикого типа.*

**Ключевые слова:** Валоризация, послеспиртовая барда, предварительная обработка, темновая ферментация, сахара, молекулярный водород.

### **Information about the authors**

**Kairat Bekbayev\*** – candidate of technical sciences, senior lecturer of the department «Technology of food and processing industries»; S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Republic of Kazakhstan; e-mail: k\_bekbaev@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9591-0370>.

**Akerke Toleugazykyzy** – PhD, lecturer of the department «Technology of food and processing industries»; S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Republic of Kazakhstan; e-mail: akerke\_toleugazykyzy@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2061-1699>.

**Bakytzhan Bolkenov** – PhD, teaching professor, Tourism and Hospitality program, Maqсут Нарикбаев University; Republic of Kazakhstan; e-mail: b\_bolkenov@kazguu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5356-7874>.

**Ruslan Iskakov** – acting professor of the department «Technological machines and equipment»; S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Republic of Kazakhstan; e-mail: rus.iskakov79@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5948-2636>.

**Nurgul Kazangarova** – PhD, candidate of geographical sciences, senior lecturer of the department «Forest Resources and Forestry»; Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Republic of Kazakhstan; e-mail: n.kazangarova@kazatu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3504-3348>.

### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Кайрат Серикжанович Бекбаев\*** – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы; С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан; e-mail: k\_bekbaev@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9591-0370>.

**Акерке Төлеуғазықызы** – PhD, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының оқытушысы; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан; e-mail: akerke\_toleugazykyzy@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2061-1699>.

**Бакытжан Тургазыевич Болкенов** – PhD, оқытушы профессор; Туризм және қонақжайлылық бағдарламасы, М.С. Нарықбаев атындағы КАЗГЮУ университеті, Қазақстан; e-mail: b\_bolkenov@kazguu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5356-7874>.

**Руслан Маратбекович Исаков** – «Технологиялық машиналар және жабдықтар» кафедрасының профессоры м.а.; С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан; e-mail: rus.iskakov79@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5948-2636>.

**Нургуль Буркитбаевна Казангапова** – PhD, география ғылымдарының кандидаты, «Орман ресурстары және орман шаруашылығы» кафедрасының аға оқытушысы; С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан; e-mail: n.kazangapova@kazatu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3504-3348>.

#### Сведения об авторах

**Кайрат Серикжанович Бекбаев\*** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств»; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, Республика Казахстан; e-mail: k\_bekbaev@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9591-0370>.

**Ақерке Төлеуғазықызы** – PhD, преподаватель кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств»; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан; e-mail: akerke\_toleugazykyzy@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2061-1699>.

**Бакытжан Тургазыевич Болкенов** – PhD, преподаватель профессор; программа «Туризм и гостеприимство», Университет КАЗГЮУ имени М.С. Нарикбаева; Республика Казахстан; e-mail: b\_bolkenov@kazguu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5356-7874>.

**Руслан Маратбекович Искаков** – и.о. профессора кафедры «Технологические машины и оборудования»; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, Республика Казахстан; e-mail: rus.iskakov79@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5948-2636>.

**Нургуль Буркитбаевна Казангапова** – PhD, кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры лесных ресурсов и лесного хозяйства; Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан; e-mail: n.kazangapova@kazatu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3504-3348>.

Received 30.07.2024

Revised 17.09.2024

Accepted 19.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-28](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-28)



FTAXP: 65.63.33

**Ф.Т. Диханбаева<sup>1</sup>, А.Б. Есенова\*, Ж.К. Иманғалиева<sup>1</sup>, М.К. Изтилеуов<sup>1</sup>, А.Ю. Просеков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Алматы технологиялық университеті,  
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, Төле би көшесі, 100

<sup>2</sup>Кемерово мемлекеттік университеті,  
650000, Ресей, Кемерово қаласы, Красная көшесі, 6

\*e-mail: essenova\_06.07@mail.ru

## НАССР ҚАҒИДАТТАРЫ НЕГІЗІНДЕ ТҮЙЕ СҮТІНЕН ЖАСАЛҒАН СҮТҚЫШҚЫЛДЫ ӨНІМНІҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІН БАСҚАРУ

**Аңдатпа:** Қазіргі уақытта отандық сүт және сүт өнімдерін өндіруші кәсіпорындарының басты мақсаты тұтынушыға бәсекеге қабілетті, жоғары сапалы және қауіпсіз сүт өнімдерін ұсыну болып табылады. Осы орайда қауіпсіз өнім өндірудің басты кепілі кәсіпорындарда ХАССП жүйесін енгізу болып табылады.

НАССР жүйесінің басты артықшылығы – азық-түлік өндірісінің бүкіл тізбегі бойынша кезең-кезеңмен бақылау арқылы қателіктерді анықтау, атап айтқанда алдын-алу және ескерту.

Зерттеу жұмысы ҚР СТ 1179-2003 «Сапа жүйелері. НАССР қағидаттарына негізделген тамақ өнімдерінің сапасын басқару. Жалпы талаптар» ұлттық стандарты негізінде жүргізілді. Бірінші кезеңінде түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнім туралы бастапқы ақпараттар (құрамы, органолептикалық көрсеткіштері, сапасы мен қауіпсіздігін сипаттайтын көрсеткіштер, қолданылуы, қаптама түрі, сақтау және жеткізу шарттары) сипатталды және оны өндіру процессінің блок-схемасы құрастырылды. Екінші кезеңінде химиялық, биологиялық және физикалық тәуекелдерді талдау үшін түйе сүті мен одан жасалған өнімдердің сапасы мен қауіпсіздігіне қатысты нормативті құжаттар, ғылыми зерттеулер жүргізілді. Одан кейін анықталған қауіпті тәуекелдерді іске асырылу ықтималдығын бағалау жүзеге асырылды. Одан өрі, «Шешім қабылдау ағашы» құралының көмегімен зерттеу объектісінің технологиясында қауіпсіздікті басқаруға және сапасын арттыруға мүмкіндік беретін сыни бақылау нүктелері анықталды.

**Түйін сөздер:** түйе сүті, НАССР, сапа және қауіпсіздік, тәуекелді бағалау, сыни бақылау нүктелері.

**Кіріспе.** Қазақстанның Дүниежүзілік сауда ұйымына кіруі, сондай-ақ Кеден одағының «Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» КО ТР 021/2011 техникалық регламентінің қабылдануына байланысты өндірілетін отандық тамақ өнімдерінің, оның ішінде сүт өнімдерінің қауіпсіздігі мен сапасын қамтамасыз ету бүгінгі күні өзекті.

Кеден одағының «Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» 021/2011 КО ТР техникалық регламентінің 10-бабының 2-тармағына сәйкес [1] отандық тамақ өнімдерін өндірушілер НАССР қағидаттарына негізделген рәсімдерді әзірлеуге, енгізуге және қолдауға міндетті. Демек, ең маңызды мәселе, азық-түліктің қауіпсіздігі мен сапасын арттыру, олардың халықаралық талаптарға сәйкестігін растау болып табылады.

НАССР (Hazard analysis and critical control points – Тәуекелдерді талдау және сыни бақылау нүктелері) – бұл өнімдердің қауіпсіздігіне әсер ететін қауіпті факторларды жүйелі түрде сәйкестендіруді және басқаруды көздейтін, халықаралық деңгейде танылған тұжырымдама.

Қазақстанда НАССР жүйесі ҚР СТ 1179-2003 «Сапа жүйелері. НАССР қағидаттарына негізделген тамақ өнімдерінің сапасын басқару. Жалпы талаптар» [2] және ҚР СТ ISO 22000-2019 «Тамақ өнімдерін жасау тізбегіне қатысатын ұйымдарға қойылатын талаптар. Жалпы талаптары» [3] стандарттары негізінде жүзеге асырылады.

НАССР жүйесінің маңызды артықшылығы – азық-түлік өндірісінің бүкіл тізбегі бойынша кезең-кезеңмен бақылау арқылы қателіктерді анықтау, атап айтқанда алдын-алу және ескерту. Бұл тамақ өнімдерін өндірушілердің басты міндеті, тұтынушыларға қауіпсіз тамақ өнімдерін тұтынуды қамтамасыз етуге кепілдік береді.

НАССР жүйесінің екі негізгі құрамдас бөлігі ол қауіпті талдау және сыни бақылау нүктесін анықтау болып табылады. Қауіпті талдау, ең алдымен, тамақ өнімдерін өндіру процесін жүйелі түрде анықтау және бағалау, сонымен қатар тағамға қауіп төндіретін кез келген биологиялық, химиялық және физикалық қауіптерді немесе факторларды таңдау болып табылады. Сыни бақылау негізінен қауіпсіз өнім алу мақсатында, сол өнімді өндіру процесі барсында бақыланатын нүктелерді немесе процедураларды тұжырымдау және басқару үшін қауіпті талдау нәтижелерін пайдаланудан тұрады [4].

Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігін жақсартумен қатар, НАССР жүйесін қолдану басқа да маңызды артықшылықтарды қамтамасыз ете алады, мысалы, ақырғы өнімнің ысырабын азайту (өнімнің өзгеру себептерін азайту) және азық-түлік қауіпсіздігіне деген сенімділікті арттыру арқылы халықаралық сауданы ынталандыру [5].

Осылайша, жүйені сертифициаттау ерікті негізде жүргізілсе де, КО ТР 021/2011 сәйкес қазақстандық тамақ өнімдерін өндірушілер НАССР қағидаттары негізінде тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі жүйесін міндетті түрде енгізу фактісінің алдына қойылды, бұл біздің жұмысымыздың өзектілігін көрсетеді.

Алматы технологиялық университетінің «Тағам өнімдерінің қауіпсіздігі мен сапасы» кафедрасында түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнімнің технологиясын әзірлеу және сапасы мен қауіпсіздігін басқару бойынша зерттеулер жүргізіледі.

Жұмыстың мақсаты: түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнімді өндіру барсында тәуекелдерді талдау және сыни бақылау нүктелерін анықтау.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Зерттеу нысаны ретінде жаңа түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнім алынды.

Зерттеу ҚР СТ 1179-2003 «Сапа жүйелері. НАССР қағидаттарына негізделген тамақ өнімдерінің сапасын басқару. Жалпы талаптар» стандарты негізінде жүргізілді.

Зерттеудің бірінші кезеңінде түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнім туралы ақпарат жиналды және оны өндіру процессінің блок-схемасы құрастырылды. Екінші кезеңінде түйе сүті мен одан жасалған өнімдердің сапасы мен қауіпсіздігіне қатысты нормативті құжаттар, басқа авторлардың ғылыми зерттеу жұмыстарының негізінде химиялық, биологиялық және физикалық тәуекелдерді талдау (қағидат 1) жүргізілді. Одан кейін анықталған қауіпті тәуекелдерді іске асырылу ықтималдығын бағалау [1] әдебиетте көрсетілген әдіс бойынша жүргізілді.

Одан әрі, сыни бақылау нүктелерін анықтау (қағидат 2) [6] ғылыми жұмысында көрсетілген «Шешім қабылдау ағашы» инструменті негізінде анықталды.

**Зерттеу нәтижелері мен оларды талқылау.** Зерттеуге алынған түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнімді сипаттау келесі ақпараттардан тұрады: құрамы, органолептикалық көрсеткіштері, сапасы мен қауіпсіздігін сипаттайтын көрсеткіштер, қолданылуы, қаптама түрі, сақтау және жеткізу шарттары. Зерттеу нәтижелері 1 кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнімнің сипаттамасы

Құрамы	Тұтас балғын түйе сүті, полиштамды ұйытқы
Органолептикалық көрсеткіштері	Дәмі мен иісі – сүтқышқылды, түйе сүтіне тән Түсі- таза ақ түсті Консистенциясы мен сыртық түрі – біртекті, аздап тұтқыр
Дайын өнімнің негізгі көрсеткіштері	Ақуыздар-4,12% Майлар-3,6% Көмірсулар- 4,04% Энергетикалық құндылығы-65 ккал Сүтқышқылды микроорганизмдер $>10^7$ рН- 4,62, Қышқылдылығы-87°Т
Қауіпсіздік көрсеткіштері	Токинді элементтер, мг/кг: Қорғасын– 0,1; Кадмий – 0,03; Мышьяк – 0,05; Сынап – 0,005.
	Антибиотиктер, мг/кг: Левомоцитин- рұқсат етілмейді Пеницилин- рұқсат етілмейді Стрептомицин- рұқсат етілмейді Тетрациклин тобы- рұқсат етілмейді Микотоксиндер Афлотоксин М <sub>1</sub> - 0,0005 мг/кг Радионуклидтер, Бк/кг Цезий-137 (Cs-137) -100 Стронций-90 (Sr-90)-25 Пестицидтер, мг/кг ГХЦГ (α,β,γ изомерлері)-0,05 ДДТ және оның метаболиттері-0,05
Қолданылуы	Кеңінен қолдануға арналған дайын емдік-профилактикалық өнім
Қаптама түрі	Герметикалы тығындалған полиэитленді стакан немесе әйнек банкалар
Сақтау мерзімі мен шарттары	10 күн, t- 4°С
Жеткізу шарттары	Арнайы көлік түрлерімен салқындатылған күйде <6 °С температурада

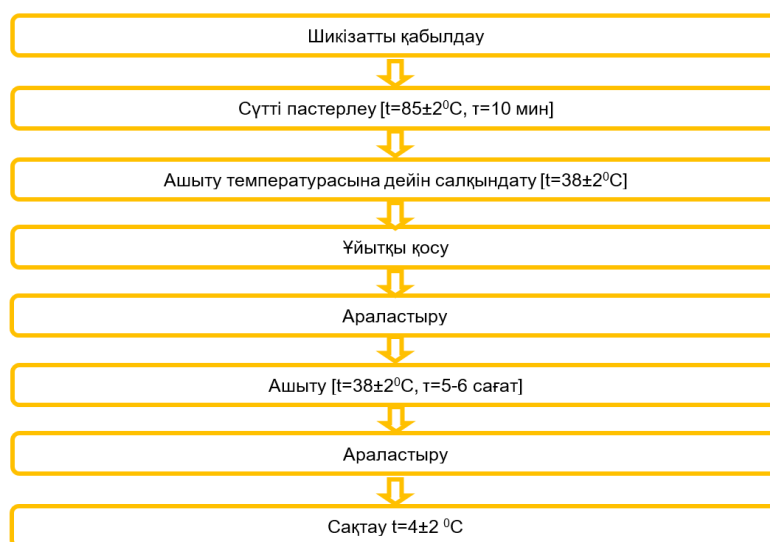
1 кесте нәтижесі көрсеткендей зерттеуге алынған сүтқышқылды өнім герметикалық ыдыстарға құйылған, кеңінен тұтынуға ұсынылатын дайын өнім болып табылады.

Жоғарыда келтірілген жаңа түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнімнің сипаттамасы негізінде оны әзірлеу блок-схемасы әзірленіп ол сурет 2 көрсетілді.

Тәуекелдерге талдау жүргізу үшін (1-қағидат), біз түйе сүтінен жасалаған сүтқышқылды өнімнің сапасы мен қауіпсіздігіне әсер ететін ықтимал қауіпті факторларды анықтау мақсатында түйе сүті және одан жасалған өнімдерді өндіруге қатысты қолданыстағы мемлекетаралық, ұлттық стандарттар, регламенттер, ғылыми зерттеулер нәтижелерін жинақтадық. Осы мәліметтер негізінде біз түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнімді өндірудегі шикізатты қабылдаудан бастап дайын өнімді сатуға дейін болатын тәуекелдерді (биологиялық, химиялық және физикалық) талдауға кірістік.

Тәуекелдерді талдау ол тәуекелдерді анықтау мен бағалауды қамтитын екі сатылы процесс болып табылады.

Түйе сүтінен әзірленген сүтқышқылды өнімді өндіру кезіндегі ықтимал тәуекелдерді анықтау нәтижелері 2-кестеде келтірілген.



Сурет 1 – Түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнімнің блок-схемасы

Кесте 2 – Түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнімнің қауіпсіздігіне әсер ететін тәуекелдер

Технологиялық процесс атауы	Ескерілетін қауіпті фактор			Бақыланатын белгілер	Алдын-алу шаралары
	Б	Х	Ф		
Шикізатты қабылдау	+	+	+	021/2011 КО ТР және 033/2013 КО ТР нормативті құжаттарында көрсетілген нормалар. Бөтен физикалық қоспалар	Шикізатты жеткізушілердің НАССР жоспарының болуын тексеру, көзбен шолу арқылы бақылау жүргізу, сүзгілерді қолдану, Кіріс бақылау процедураларын сақтау
Пастерлеу	+			Термиялық өңдеу процесінің дұрыс орындалму салдарынан өнімнің ластануы	Пастерлеу температурасы мен уақытын сақтау
Салқындату	+			Салқындатудың температуралық режимін сақтамау салдарынан микроорганизмдердің, оның ішінде патогендердің көбеюі	Салқындату кезінде температуралық режимді бақылау
Ұйытқы қосу	+			Бөгде микрофлорамен ластану	Жеткізушілердің аудит жүргізілгені туралы құжаттарының болуы
Ашыту	+			Ашытудың температуралық режимін сақтамау салдарынан микроорганизмдердің, оның ішінде патогендердің көбеюі	Ашыту процесінің температурасы мен рН қадағалау
Қаптау	+	+	+	Қаптама материалы арқылы ластану. Қаптаманың мономерлерін өнімге тасымалдау. Бөгде заттар (металдар, шыны, т.б.)	Өнім түріне сәйкес қаптаманы қолдану; жеткізушінің құжаттарының сапасын растайтын орау материалына қойылатын нақты талаптары бар спецификацияның болуы. Жеткізуші аудиті. Қаптама материалының сапасын бақылау
Сақтау	+	+	+	Температуралық жағдайларды сақтамау салдарынан бөгде микрофлораның дамуы. қаптаманың бүтіндігінің бұзылуына байланысты бөгде заттар мен заттектердің түсуі	Температуралық жағдайды бақылау, орауыштың бүтіндігін қадағалау, процедураларға сәйкес санитарлық шараларды жүргізу. Дератизация және дезинфекциялық шаралардың уақтылы орындалуын қадағалау

2-кесте нәтижелері көрсеткендей, түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнімді өндірудің әр кезеңінде, оның қауіпсіздігіне әсер ететін химиялық, биологиялық және физикалық тәуекелдердің кездесетінін байқауға болады.

Әрі қарай, ықтимал тәуекелдерді және оларды бақылаудың сәйкес рәсімдерін анықтағаннан кейін, біз әрбір тәуекелді оның орындалу ықтималдығы және салдардың



ауырлығы тұрғысынан бағаладық. Бағалау ҚР СТ 1179-2003 стандартында көрсетілген әдіске сәйкес жүргізілді. Бағалау нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3 – Түйе сүтінен жаспаған сүтқышқылды өнімді өндіру бойынша тәуекелдерді бағалау

Қауіп түрі	Ықтимал зардаптардың ауырлығы	Пайда болу ықтималдығы	Қатерді бағалау	Ластану көзі
<b>Биологиялық қауіпті факторлар</b>				
Ішек таяқшалар тобы бактериялары (ІТТБ)	3	3	9	Шикі сүт, қызметкерлердің лас қолдары, нашар жуылған жабдықтар, су. Технологиялық режимдерді бұзу, сақтау шарттары
Salmonella spp,	4	2	8	Шикі сүт, қызметкерлердің лас қолдары, нашар жуылған жабдықтар, су.
E. coli O157:H,	4	2	8	Шикі сүт, қызметкерлердің лас қолдары, нашар жуылған жабдықтар, су.
S. aureus,	3	3	9	Нысанның нашар санитарлық жағдайы, қызметкерлердің жеке гигиена ережелерін сақтамауы
Зең мен ашытқы	3	3	9	Шикізат, ауа, жабдық, персонал, орау. Шикізаттың қанағаттанарлықсыз сапасы, пастерлеу, ашыту, орау технологиялық процестерінің бұзылуы. Сақтау режимдерін бұзу. Өсуге қолайлы қоршаған орта жағдайлары (температура, ылғалдылық)
<b>Химиялық қауіпті факторлары</b>				
Ауыр металдар	4	3	12	Шикізат, шикізаттың қанағаттанарлықсыз сапасы
Пестицидтер	4	3	12	Шикізат, шикізаттың қанағаттанарлықсыз сапасы
Радионуклидтер	4	3	12	Шикізат, шикізаттың қанағаттанарлықсыз сапасы
Антибиотиктер және ингибиторлар	4	3	12	Шикізат, шикізаттың қанағаттанарлықсыз сапасы
Жуу және дезинфекциялау құралдарының элементтері (қалдық мөлшерде)	4	4	16	Жабдықтан нашар жуылған жуу және дезинфекциялау құралдары
<b>Физикалық қауіпті факторлар</b>				
Металдық қосындылар	2	4	8	Шикізат, коррозия, тозу, жабдықтың істен шығуы, персоналдың жеке заттары
Металл емес қосындылар: - шыны - пластмасса - органикалық қосындылар - жабдықтың майлау материалдары	3	3	9	Шикізат, орау ыдысы ТУ және ТН бұзу, құстардың, кеміргіштердің, жәндіктердің қалдықтары, персоналдың санитарлық ережелерді бұзуы Жабдықтың тозу өнімдері, майлау қалдықтары

3 кесте нәтижесі көрсеткендей 021/2011 «Тағам өнімдерінің қауіпсіздігі» КО ТР [1] және 033/2013 «Сүт және сүт өнімдерінің қауіпсіздігі» туралы КО ТР [7] бекітілген қауіпті факторлар бағалау нәтижелеріне қарамастан ескерілетін факторларға жатқызылды.

Әрі қарай, НАССР жүйесінің 2-қағидатына сәйкес, тәуекелдерді талдағаннан кейін, біз түйе сүтінен жаспаған сүтқышқылды өнімді өндіру кезінде сыни бақылау нүктелерін (СБН) анықтауға кірістік. Қорытындысы кесте 4-те келтірілген.

Кесте 4 – Сүтқышқылды өнімнің қауіпсіздігіне әсе ететін сыни бақылау нүктелерін анықтау

Процесс этаптары	Қауіпті фактор	Сұрақ 1	Сұрақ 2	Сұрақ 3	Сұрақ 4	Сұрақ 5	Ескерту
Шикізат қабылдау	Б	Иә	Иә	Жоқ	Иә	Иә	СБН 1
	Х	Иә	Иә	Жоқ	Иә	Иә	
	Ф	Иә	Иә	Иә			
Пастерлеу	Б	Иә	Иә	Иә	Иә	Иә	СБН 2
Салқындату	Б	Иә	Иә	Жоқ	Жоқ	Жоқ	
Ашытқы енгізу	Б	Жоқ	Иә				СБН 3
Ашыту	Б	Иә	Иә	Жоқ	Иә	Жоқ	
Салқындату	Б	Иә	Иә	Жоқ	Иә	Жоқ	
Қаптау	Б	Жоқ					СБН 4
	Х	Жоқ					

4 кесте нәтижесі бойынша келесідей СБН анықталды: СБН1 – шикізатты қабылдау, СБН 2 – пастерлеу, СБН 3 – ашыту (ашытқы енгізу), СБН 4 – қаптау.

**СБН 1.** Шикі сүт. Шикі сүтте көптеген қауіптер болуы мүмкін. Сүттің биологиялық, химиялық және физикалық қауіпсіздігі сүт және сүт өнімдерін өндіруде маңызды көрсеткіштер болып табылады.

Өңдеуге алынатын түйе сүті қолайлы гигиеналық жағдайда өмір сүретін сау жануарлардан алынуы маңызды.

Органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштер бойынша түйе сүті ҚР СТ 166-2015 «Өңдеуге арналған түйе сүті» Техникалық шарттар стандартында көрсетілген талаптарына сәйкес болуы керек. Осы нормативтік құжатта түйе сүтінің химиялық, биологиялық қауіпсіздік көрсеткіштері және рұқсат етілген деңгейдегі соматикалық жасушалардың саны көрсетілмегенін атап өткен жөн. Сондықтан КО ТР 021/2011 және КО ТР 033/2013 техникалық регламенттеріне сәйкес сиыр сүтінің биологиялық және химиялық қауіпсіздік көрсеткіштері мен соматикалық жасушаларының саны түйе сүтінің сапасы мен қауіпсіздігін бағалау үшін пайдаланылады.

Шикі түйе сүті химиялық (ауыр металдар, антибиотиктер, пестицидтер, микотоксиндер, радионуклидтер), биологиялық (патогендік микроорганизмдер), физикалық (бөгде заттар) қауіптердің негізгі көзі болуы мүмкін.

Сүт – бұл микроорганизмдердің дамуы үшін жақсы қоректік орта, олар сүтке ашытқымен де, қоршаған ортадан да енуі мүмкін.

Жалпы шикі түйе сүтінің микробиологиялық сапасы сауу жағдайына, сауудан кейінгі қоршаған орта жағдайына, тасымалдау және сақтау жағдайына байланысты.

Түйе сүтінің микробиологиялық қауіпсіздігіне арналған [8,9,10], авторлардың жұмысының нәтижелері шикі түйе сүтінің сапасының төмендігін көрсетті, сонымен қатар сүтте сальмонелла, E. coli O157:H сияқты патогенді микроорганизмдер табылды. Бұл сауу, сақтау және тасымалдау кезінде санитарлық-гигиеналық талаптардың сақталмағанын көрсетеді.

Статистикалық деректер бойынша Қазақстанда түйелердің басым бөлігі жеке шаруашылықтарда, жеке аулаларда өсіріліп, қолмен сауылатынын атап өткен жөн.

Қазақстан индустриалды дамыған ел. Негізінен түйе сүті батыс және оңтүстік аймақтарда негізгі азық-түлік өнімі болып табылады, онда мұнай өндіру көп, мұнай-химия зауыттары жұмыс істейді, көлік инфрақұрылымы дамыған, олардың шығарындылары экологияны нашарлатады. Осыған байланысты химиялық қауіпсіздікті анықтау, әсіресе ауыр металдардың құрамы маңызды.

Сүт өнімдерінде металдардың болуы қоршаған орта әсерінен немесе құрамында ауыр металдары бар тамақ пен суды тұтынумен байланысты болуы мүмкін [11, 12]. Бұл ластану, ең алдымен, жанармай жағу жолдарға, тау-кен және өнеркәсіптік аудандарға жақын орналасу салдары, муниципалды және ауылшаруашылық ағынды сулар мен қатты қалдықтар сияқты антропогендік әрекеттердің нәтижесі болып табылады [13]. ФАО мен ДДҰ-ның Азық-түлік кодексі бойынша біріккен комиссиясы (Codex Alimentarius) халықаралық тағам өнімдерінің саудасында сынап, кадмий, қорғасын, мышьяк, мыс, қалайы, мырыш және темір мөлшері бақылауға енгізген. Қазақстанда қолданыстағы КО ТР 021/2011 сәйкес сүт өнімдерінде төрт улы элемент сынап, кадмий, қорғасын және мышьяк бақылауға жатады.

Отандық ғалымдардың Қазақстанның әртүрлі аймақтарынан алынған түйе сүтіндегі ауыр металдарды зерттеу жұмыстарының нәтижесі бойынша Алматы облысының фермерлік шаруашылықтарынан алынған түйе сүтінің құрамындағы қорғасын мен кадмий мөлшері, басқа облыстардан (Атырау, Жамбыл, Қызылорда) алынған түйе сүті үлгілеріне қарағанда 2 есе жоғары екенін көрсетті [14]. Ал шетелдік ғалымдардың зерттеу жұмыстарының нәтижесі бойынша Египет және БАӘ алынған түйе сүтінде салыстырмалы түрде қорғасын мен кадмий мөлшері жоғары екенін көрсетсе [15, 16], Қытайдағы түйе сүтінде Pb және Cd мөлшері басқа дамушы мемлекеттермен салыстырғанда төмен екенін көрсетті [17]. Бұл Boudebbouz A. et al. тұжырымдарына сәйкес келеді, яғни дамушы елдердің сүтіндегі улы металдардың концентрациясы дамыған елдерге қарағанда жоғары болатындығын көрсетеді [18].

**СБН 2.** Пастерлеу. Пастерлеу-сүтті залалсыздандырудың негізгі әдісі. Ол патогендік токсин түзуші микрофлораны жою, ферменттердің (фосфотаза, редуктаза, пероксидаза) белсенділігін инактивациялау және сүт пен сүт өнімдерінің жарамдылық мерзімін ұзарту мақсатында жүргізіледі. Пастерлеу кезінде вегетативті микрофлораның 99,9%-ы жойылады [19].

Түйе сүтін пастерлеудің өзіндік шарттары мен көрсеткіштері болуы қажет. Дәстүрлі сиыр сүтіне қолданылатын сілтілі фосфотаза дәстүрлі түрде түйе сүті үшін сәтті пастерлеудің ыңғайлы көрсеткіші емес, өйткені түйе сүтіндегі сілтілі фосфатаза ыстыққа төзімді және 90°C температурада белсенді екені анықталды [20]. Loiseau, G. et al. [21] түйе сүтін пастерлеудің индикаторы ретінде (75°C-та 30 с бойы) глутамилтранспептидазны немесе (75°C-та 28 с бойы немесе 80°C-та 7 с бойы) лейцинариламидазаны қолдануды ұсынды. Егер түйе сүтін 20 минут ішінде 72°C температурада пастерлеу қажет болса, ең қолайлы көрсеткіш гамма-глутамилтрансфераза болуы мүмкін [22]. Алайда, Lorenzen P.C. et al. [23] гамма-глутамилтрансфераза пастерленген түйе сүтінде болтынын дәлелдеп, лактопероксидаза пастерлеудің қолайлы көрсеткіші болуы мүмкін деген тұжырымға келді.

Сондықтан осы уақытқа дейін бұл салада нақты терең зерттеулер жүргізілген жоқ. Түйе сүтін пастерлеудің ыңғайлы индикаторына қатысты мұндай күмән халықаралық стандартты орнатуға кедергі болып табылады. Осылайша, түйе сүтін өнеркәсіптік масштабта пастерлеу дұрыс жүргізілмеуі мүмкін және оны термиялық өңдеу дұрыс болмауы мүмкін.

**СБН 3.** Ашытқы қосу. Түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнімді өндіру барысында қосылатын ашытқының тазалығы маңызды болып табылады. Себебі ІІТБ ластанған ашытқыны қосу алынатын ақырғы өнімнің сапасы мен қауіпсіздігіне кері әсер етуі мүмкін.

**СБН 4.** Қаптау. Контейнерлерді толтыру СБН болып саналады, өйткені олардағы кез келген зақым немесе улы қалдықтардың болуы соңғы өнімнің ластануына әкелуі мүмкін.

**Қорытынды.** Зерттеу жұмысының нәтижесінде жаңа түйе сүтінен жасалаған сүтқышқылды өнімді өндіруде кездесетін биологиялық, физикалық және химиялық тәуекелдер және оларды бақылау шаралары анықталды. Анықталған тәуекелдердің орындалу ықтималдығы және салдардың ауырлығы тұрғысынан бағаланды. «Шешім қабылдау ағашы» инструменті негізінде шикізатты қабылдау, сүтті пастерлеу, ашытқы енгізу және қаптау сияқты технологиялық процестердің әрбір кезеңінде түйе сүтінен жасалған сүтқышқылды өнімнің қауіпсіздігіне әсер етеін сыни бақылау нүктелері анықталды.

#### Әдебиеттер тізімі

1. TP TC 021/2011. О безопасности пищевой продукции (решение комиссии ТС от 09.12.11 № 880) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902320560>. Дата обращения: 10.05.2024.
2. СТ РК 1179-2003. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов HACCP. Общие требования [Текст]. – Введ. 2005-01-01. – Астана: Мемстандарт, 2003. – 15 с.
3. СТ РК ISO 22000-2019. Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции. – Введ. 2019-12-01– Нур-Султан: Госстандарт, 2019. – 38 с.
4. The implementation of HACCP management system in a chocolate ice cream plant / J. Lu et al // Journal of food and drug analysis. – 2014. – Vol. 22, № 3. – P. 391-398.
5. Yunus M.R. Hazard Analysis and Critical Control Points in cocoa bean fermentation / M.R. Yunus // International Journal of Agriculture System. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 13-26.

6. Мортимор С. НАССР. Практические рекомендации / С. Мортимор., К. Уоллес // С: Профессия, 2016. – 520 с.
7. ТР ТС 033/2013. О безопасности молока и молочной продукции [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://eec.eaeunion.org/comission/department/deptexreg/tr/tr-ts-033.php>. Дата обращения: 10.05.2024
8. Microbiological quality assessment of Moroccan camel's milk and identification of predominating lactic acid bacteria / N. Benkerroum et al // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. – 2003. – Vol. 19. – P. 645-648.
9. Analysis of microbial quality and safety of camel (*Camelus dromedarius*) milk chain and implications in Kenya / J.W. Matofari et al // *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*. – Vol. 5, № 3. – P. 50-54.
10. Microbiological quality of raw camel milk across the Kenyan market chain / D.W.M. Kaindi et al // *Food*. – 2011. – Vol. 5, № 1. – P. 79-83.
11. Relationships between Pb, As, Cr, and Cd in individual cows' milk and milk composition and heavy metal contents in water, silage, and soil / X. Zhou et al // *Environmental Pollution*. – 2019. – Vol. 255. – P. 113-322.
12. Comparative study of heavy metals distribution in soil, forage, blood and milk / M. Tahir et al // *Acta Ecologica Sinica*. – 2017. – Vol. 37, № 3. – P. 207-212.
13. Lead and cadmium levels in raw bovine milk and dietary risk assessment in areas near petroleum extraction industries / R. Norouzirad et al // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 635. – P. 308-314.
14. Heavy metals and trace elements content in camel milk and shubat from Kazakhstan / A. Meldebekova et al // *Impact of Pollution on Animal Products*. – 2008. – P. 117-123.
15. Damarany A.I. Concentrations of Sodium, Potassium, Copper, Zinc and Heavy Metals in Camel Milk Reared Under Pasture and Farm Conditions in South Egypt / A.I. Damarany // *Journal of Animal and Poultry Production*. – 2016. – Vol. 7, № 7. – P. 275-278.
16. Effect of the environmental factors on some element contents in camel and sheep milks: a comparative study between Qassim and Riyadh regions, KSA / M. Soltan et al // *International Research Journal of Public and Environmental Health*. – Vol. 4, № 8. – P. 184-192.
17. Analysis of 17 elements in cow, goat, buffalo, yak, and camel milk by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) / L. Chen et al // *RSC advances*. – 2020. – Vol. 10, № 12. – P. 6736-6742.
18. Determination of heavy metal levels and health risk assessment of raw cow milk in Guelma Region, Algeria / A. Boudebbouz et al // *Biological Trace Element Research*. – 2023. – Vol. 201, № 4. – P. 1704-1716.
19. Карпеня М.М. Технология производства молока и молочных продуктов: учебное пособие. [Текст] / М.М. Карпеня, В.И. Шляхтунов, В.Н. Подрез. – Минск: Новое знание, 2015. – 410 с.
20. Elagamy E.I. Effect of heat treatment on camel milk proteins with respect to antimicrobial factors: a comparison with cows' and buffalo milk proteins / E.I. Elagamy // *Food Chemistry*. – 2000. – Vol. 68, № 2. – P. 227-232.
21. Enzymes ability to serve as markers of pasteurized camel milk / G. Loiseau et al // In *Proceedings of the Conference on New Horizons in Biotechnology, Trivandrum, India, 18-21 April 2001*.
22. Wernery U. Gamma-glutamyl transferase (GGT), a potential marker for the evaluation of heat treatment of dromedary milk / U. Wernery, B. Johnson, R.M. George // *Journal of Camel Practice and Research*. – 2007. – Vol. 14, № 1. – P. 9-15.
23. Evaluation of indigenous enzyme activities in raw and pasteurised camel milk / P.C. Lorenzen et al // *Small Ruminant Research*. – 2011. – Vol. 97, № 1-3. – P. 79-82.

## References

1. TR TS 021/2011. О безопасности пищевой продукции (решение комиссии TS от 09.12.11 № 880) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902320560>. Дата обращения: 10.05.2024. (In Russian).
2. ST RK 1179-2003. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов НАССР. Общие требования [Текст]. – Введ. 2005-01-01. – Астана: Memstandart, 2003. – 15 с. (In Russian).

3. ST RK ISO 22000-2019. Sistemy menedzhmenta bezopasnosti pishchevoi produktsii. Trebovaniya k organizatsiyam, uchastvuyushchim v tsepi sozdaniya pishchevoi produktsii. – Vved. 2019-12-01– Nur-Sultan: Gosstandart, 2019. – 38 s. (In Russian).
4. The implementation of HACCP management system in a chocolate ice cream plant / J. Lu et al // *Journal of food and drug analysis*. – 2014. – Vol. 22, № 3. – R. 391-398. (In English).
5. Yunus M.R. Hazard Analysis and Critical Control Points in cocoa bean fermentation / M.R. Yunus // *International Journal of Agriculture System*. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 13-26. (In English).
6. Mortimor S. HACCP. Prakticheskie rekomendatsii / S. Mortimor, K. Uolles // S: Professiya, 2016. – 520 s. (In Russian).
7. TR TS 033/2013. O bezopasnosti moloka i molochnoi produktsii [Ehlektronnyi resurs] – Rezhim dostupa: <https://eec.eaeunion.org/comission/department/deptexreg/tr/tr-ts-033.php>. Data obrashcheniya: 10.05.2024. (In Russian).
8. Microbiological quality assessment of Moroccan camel's milk and identification of predominating lactic acid bacteria / N. Benkerroum et al // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. – 2003. – Vol. 19. – P. 645-648. (In English).
9. Analysis of microbial quality and safety of camel (*Camelus dromedarius*) milk chain and implications in Kenya / J.W. Matofari et al // *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*. – Vol. 5, № 3. – P. 50-54. (In English).
10. Microbiological quality of raw camel milk across the Kenyan market chain / D.W.M. Kaindi et al // *Food*. – 2011. – Vol. 5, № 1. – P. 79-83. (In English).
11. Relationships between Pb, As, Cr, and Cd in individual cows' milk and milk composition and heavy metal contents in water, silage, and soil / X. Zhou et al // *Environmental Pollution*. – 2019. – Vol. 255. – P. 113-322. (In English).
12. Comparative study of heavy metals distribution in soil, forage, blood and milk / M. Tahir et al // *Acta Ecologica Sinica*. – 2017. – Vol. 37, № 3. – P. 207-212. (In English).
13. Lead and cadmium levels in raw bovine milk and dietary risk assessment in areas near petroleum extraction industries / R. Norouzirad et al // *Science of the Total Environment*. – 2018. – Vol. 635. – R. 308-314. (In English).
14. Heavy metals and trace elements content in camel milk and shubat from Kazakhstan / A. Meldebekova et al // *Impact of Pollution on Animal Products*. – 2008. – P. 117-123. (In English).
15. Damarany A.I. Concentrations of Sodium, Potassium, Copper, Zinc and Heavy Metals in Camel Milk Reared Under Pasture and Farm Conditions in South Egypt / A.I. Damarany // *Journal of Animal and Poultry Production*. – 2016. – Vol. 7, № 7. – P. 275-278. (In English).
16. Effect of the environmental factors on some element contents in camel and sheep milks: a comparative study between Qassim and Riyadh regions, KSA / M. Soltan et al // *International Research Journal of Public and Environmental Health*. – Vol. 4, № 8. – P. 184-192. (In English).
17. Analysis of 17 elements in cow, goat, buffalo, yak, and camel milk by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) / L. Chen et al // *RSC advances*. – 2020. – Vol. 10, № 12. – P. 6736-6742. (In English).
18. Determination of heavy metal levels and health risk assessment of raw cow milk in Guelma Region, Algeria / A. Boudebouz et al // *Biological Trace Element Research*. – 2023. – Vol. 201, № 4. – P. 1704-1716. (In English).
19. Karpenya M.M. Tekhnologiya proizvodstva moloka i molochnykh produktov: uchebnoe posobie. [Tekst] / M.M. Karpenya., Shlyakhtunov V.I., V.N. Podrez – Minsk: Novoe znanie, 2015. – 410 s. (In Russian).
20. Elagamy E.I. Effect of heat treatment on camel milk proteins with respect to antimicrobial factors: a comparison with cows' and buffalo milk proteins / E.I. Elagamy // *Food Chemistry*. – 2000. – Vol. 68, № 2. – P. 227-232. (In English).
21. Enzymes ability to serve as markers of pasteurized camel milk / G. Loiseau et al // In *Proceedings of the Conference on New Horizons in Biotechnology*, Trivandrum, India, 18-21 April 2001. (In English).
22. Wernery U. Gamma-glutamyl transferase (GGT), a potential marker for the evaluation of heat treatment of dromedary milk / U. Wernery, B. Johnson, R.M. George // *Journal of Camel Practice and Research*. – 2007. – Vol. 14, № 1. – R. 9-15. (In English).
23. Evaluation of indigenous enzyme activities in raw and pasteurised camel milk / P.C. Lorenzen et al // *Small Ruminant Research*. – 2011. – Vol. 97, № 1-3. – P. 79-82. (In English).

**Ф.Т. Диханбаева<sup>1</sup>, А.Б. Есенова\*, Ж.К. Имангалиева<sup>1</sup>, М.К. Изтилеуов<sup>1</sup>, А.Ю. Просеков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Алматинский технологический университет,  
050012, Республика Казахстан, г. Алматы, улица Толе би, 100

<sup>2</sup>Кемеровский государственный университет,  
650000, Россия, г. Кемерово, улица Красная, 6

\*e-mail: essenova\_06.07@mail.ru

## **УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ И БЕЗОПАСНОСТЬЮ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА ИЗ ВЕРБЛЮЖЬЕГО МОЛОКА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ НАССР**

*В настоящее время главной задачей отечественных производителей молока и молочной продукции является предоставление потребителю высоко качественной и безопасной молочной продукции. При этом главной гарантией безопасного производства продукции является внедрение на предприятиях системы НАССР.*

*Основным преимуществом системы НАССР является обнаружение ошибок, а именно предотвращение и предупреждение, путем поэтапного контроля всей цепочки производства продуктов питания.*

*Исследовательская работа проводилась на основе национального стандарта СТ РК 1179-2003 «Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов НАССР. Общие требования». На первом этапе собрана необходимая информация о кисломолочном продукте из верблюжьего молока (состав, органолептические показатели, показатели характеризующие качество и безопасность, применение, тип упаковки, условия хранения и доставки) и составлена блок-схема процесса его производства. На втором этапе для анализа химических, биологических и физических рисков были исследованы результаты научных работ других авторов и нормативные документы, касающиеся качества и безопасности верблюжьего молока и продуктов из него. Затем осуществлена оценка вероятности реализации выявленных опасных рисков. Далее с помощью инструмента «Дерево принятия решений» были выявлены критические контрольные точки в технологии объекта исследования, позволяющие управлять безопасностью и повысить качество при их производстве.*

**Ключевые слова:** верблюжье молоко, НАССР, качество и безопасность, оценка рисков, критические контрольные точки.

**F. Dikhanbayeva<sup>1</sup>, A. Yessenova\*, Zh. Imangaliyeva<sup>1</sup>, M. Iztileuov<sup>1</sup>, A. Prosekov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Almaty Technological University,  
050012, Republic of Kazakhstan, Almaty city, Tole bi street, 100

<sup>2</sup>Kemerovo State University,  
650000, Russia, Kemerovo city, Krasnaya street, 6

\*e-mail: essenova\_06.07@mail.ru

## **QUALITY AND SAFETY MANAGEMENT OF FERMENTED MILK PRODUCTS FROM CAMEL MILK BASED ON HACCP PRINCIPLES**

*Currently, the main task of domestic producers of milk and dairy products is to provide consumers with high-quality and safe dairy products. At the same time, the main guarantee of safe production is the introduction of the HACCP system at enterprises.*

*The main advantage of the HACCP system is error detection, namely prevention and prevention, through step-by-step control of the entire food production chain.*

*The research work was carried out on the basis of the national standard SS RK 1179-2003 «Quality systems. Food quality management based on the principles of HACCP. General requirements». At the first stage, the necessary information about the fermented milk product from camel milk was collected (composition, organoleptic characteristics, indicators characterizing quality and safety, application, type of packaging, storage and delivery conditions) and a flowchart of its production process was compiled. At the second stage, the results of scientific research by other authors and regulatory documents related to the quality and safety of camel milk and products from it were examined to analyze chemical, biological and physical risks. Then an assessment of the probability of the identified dangerous risks was carried out. Further, using the Decision Tree tool, critical control points in the technology of the research object were identified, allowing to manage safety and improve quality in their production.*

**Key words:** camel milk, HACCP, quality and safety, risk analysis, critical control point.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Фатима Токтаровна Диханбаева** – техника ғылымдарының докторы, «Тамақ өнімдерінің технологиясы» кафедрасының профессоры; Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: fatima6363@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4257-3774>.

**Айдана Болатовна Есенова\*** – техника ғылымдарының магистрі, «Тамақ өнімдерінің технологиясы» кафедрасының лекторы; Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: essenova\_06.07@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6101-1446>.

**Жадыра Кенжегазыевна Иманғалиева** – PhD, «Тамақ өнімдерінің технологиясы» кафедрасының сениор-лекторы; Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: i.zhadra@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3419-7852>.

**Максат Карсыбекович Изтилеуов** – техника ғылымдарының магистрі, Алматы технологиялық университеті директоры-ТО бастығы; Алматы, Қазақстан Республикасы; e-mail: m.iztileuov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4843-4030>.

**Александр Юрьевич Просеков** – техника ғылымдарының докторы, профессор, Кемерово мемлекеттік университетінің ректоры; Кемерово мемлекеттік университеті, Кемерово қаласы, Ресей Федерациясы; e-mail: aprosekov@rambler.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5630-3196>.

### Сведения об авторах

**Фатима Токтаровна Диханбаева** – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология продуктов питания», Алматинский технологический университет, Алматы, Республика Казахстан; e-mail: fatima6363@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4257-3774>.

**Айдана Болатовна Есенова\*** – магистр технических наук, лектор кафедры «Технология продуктов питания», Алматинский технологический университет, Алматы, Республика Казахстан; e-mail: essenova\_06.07@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6101-1446>.

**Жадыра Кенжегазыевна Иманғалиева** – PhD, лектор кафедры «Технология продуктов питания», Алматинский технологический университет, Алматы, Республика Казахстан; e-mail: i.zhadra@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3419-7852>.

**Максат Карсыбекович Изтилеуов** – магистр технических наук, Директор ЦОС-Начальник ОР АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Республика Казахстан; e-mail: m.iztileuov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4843-4030>.

**Александр Юрьевич Просеков** – доктор технических наук, профессор, ректор Кемеровского государственного университета; Кемеровский государственный университет, Кемерово, Российская Федерация; e-mail: aposekov@rambler.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5630-3196>.

### Information about the authors

**Fatima Toktarovna Dikhanbayeva** – Doctor of Technical Sciences, Professor in the Department of «Food Technology»; Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: fatima6363@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4257-3774>.

**Aidana Bolatovna Yessenova\*** – Master of Technical Sciences, Lecturer in the Department of «Food Technology», Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: essenova\_06.07@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6101-1446>.

**Zhadyra Kenzhegaziyeva Imangaliyeva** – PhD, lecturer in the Department of Food Technology, Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: i.zhadra@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3419-7852>.

**Alexander Yurievich Prosekov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Kemerovo State University; Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: aposekov@rambler.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5630-3196>.

**Maksat Karsybekovich Iztileuov** – Master of Technical Sciences, Director of the Student Service Center – Head of the Registration Office JSC «Almaty Technological University», Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: m.iztileuov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4843-4030>.

*Редакцияға енуі 11.07.2024*

*Өңдеуден кейін түсуі 20.09.2024*

*Жариялауға қабылданды 23.09.2024*

**А.Н. Нургазезова, Г.Н. Нурымхан, Э.С.Абдуллина\*, Ш.К. Жакупбекова, А.О. Майжанова**  
Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А.  
\*e-mail: [elmira.abdullyna@gmail.com](mailto:elmira.abdullyna@gmail.com)

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ГОВЯДИНЫ, РЫБЫ И РЫБНОГО ПОЛУФАБРИКАТА НА УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ ИЛУ-10 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ОТНОШЕНИЮ К CLOSTRIDIUM SPP.**

**Аннотация:** В данной статье приведены результаты исследования, проведенные в аккредитованной испытательной лаборатории для оценки эффективности обработки радиацией с помощью ускорителя электронов «ИЛУ-10» с целью продления срока годности пищевых продуктов, путем контроля бактериального загрязнения (сульфитредуцирующих клостридий – *Clostridium spp.*). Ранее проведенные исследования показали, что сульфитредуцирующие клостридии являются важным индикатором микробиологического контроля в пищевой промышленности. Они являются причиной порчи продуктов, некоторые виды клостридий способны вызвать массовое заболевание пищеварительной системы человека. Целью исследования являлось оценить эффективность данного прибора по снижению бактериальной обсемененности *Clostridium spp.* с различными дозами облучения в диапазоне от 3 до 9 кГр. Использовали стандартные методы исследования. Было установлено, что для снижения бактериальной обсемененности, при сохранении органолептических свойств: говядины, рыбы (щука), рыбных котлет достаточно дозы равной 3 кГр. В целом максимальный антибактериальный эффект достигался при трех применяемых дозах (3,6,9, КГр). На основании проведенного исследования можно сделать вывод о высокой эффективности использования ускорителя электронов ИЛУ-10 для уничтожения *Clostridium spp.* в дозе 3 кГр.

**Ключевые слова:** ИЛУ-10, *Clostridium spp.*, сульфитредуцирующие клостридии, пищевые продукты, стерилизация, радиационное облучение, микробиологическая безопасность, пищевая безопасность.

### **Введение**

*Clostridium spp.*, являясь анаэробными бактериями, могут существенно ускорять порчу мясных продуктов. Они разлагают серосодержащие вещества, образуя неприятные запахи и токсичные соединения. Это приводит к ухудшению вкусовых качеств и безопасности продукта, что требует особого внимания к условиям хранения и обработки мяса. Сульфитредуцирующие клостридии могут вызывать порчу продуктов, производя сероводород, который приводит к изменению цвета пищи. Они могут размножаться в мясе, рыбе, молочных продуктах и консервах, особенно если продукты не подверглись должной термической обработке или хранятся в анаэробных условиях [1]. В таких условиях клостридии могут вызывать гниение и развитие токсинов, что делает продукт опасным для потребления.

Радиационная обработка мяса представляет собой эффективный метод продления его срока хранения. Радиационная обработка также минимизирует необходимость использования химических консервантов, что делает продукт более натуральным. Кроме того, этот метод сохраняет питательные вещества и органолептические свойства мяса, что способствует его лучшему качеству и долговечности [2]. Продление срока хранения с использованием способности радиации эффективно уничтожать вредные бактерии предполагает, что это может быть эффективным методом для продления срока хранения продуктов питания. Применение радиационной обработки может повысить безопасность мясных, рыбных и морепродуктов путем снижения бактериального загрязнения. Использование таких методов может помочь производителям соблюдать международные стандарты безопасности продуктов и повысить доверие потребителей к безопасности и качеству продукции [3-5]. Ускоритель электронов ИЛУ-10 применяется в пищевой промышленности для радиационной обработки продуктов. Этот прибор генерирует высокоэнергетические электроны, которые эффективно уничтожают микроорганизмы и замедляют ферментативные процессы, способствующие порче пищи. Обработка с помощью



ИЛУ-10 позволяет продлить срок хранения продуктов, сохраняя их свежесть и питательные свойства. Метод обеспечивает высокую безопасность и минимизирует использование химических консервантов. Благодаря точному контролю дозы излучения, ускоритель электронов помогает поддерживать высокое качество и безопасность продукции, что является важным аспектом в современной пищевой промышленности [6].

#### **Условия и методы исследования**

Образцами для исследования являлись: говядина, котлеты рыбные, щука. Исследование включало набор структурированных экспериментов, проведенных в контролируемых лабораторных условиях.

Отбор проб осуществляли по ГОСТ ISO/TS 17728-2017 [7], для оценки санитарно-микробиологического состояния использовали стандартные методы исследования: сульфитредуцирующие бактерии исследовались по ГОСТ 29185-2014 [8].

Анализ статистических данных проведен с применением таких программ, как Statistica 10.0 [9], а также надстройки «Анализ данных» программы Excel.

#### **Результаты исследования**

В аккредитованной, испытательной лаборатории ТОО «НУТРИТЕСТ» были проведены экспериментальные исследования по определению эффективности обработки пищевой продукции электронным пучком ускорителем электронов ИЛУ-10 в отношении бактерий *Clostridium* spp., вызывающих сокращение сроков хранения пищевого сырья.

Сульфитредуцирующие клостридии играют ключевую роль в микробиологическом контроле в пищевой промышленности [10]. Они служат важным показателем для оценки состояния санитарии и эффективности методов обработки продуктов [11, 12].

Дозы радиационного воздействия классифицируются по степени их силы и предназначению в обработке продуктов. Были установлены три дозы облучения 3, 6, 9 кГр. Низкое воздействие: доза 3 кГр (килогрей) применяется для легкой обработки, обеспечивая минимальное воздействие на продукт. Данная доза используется для предотвращения роста микроорганизмов и замедления порчи, не оказывая значительного влияния на химические и органолептические свойства продукта. Среднее воздействие: доза 6 кГр предназначена для более интенсивной обработки, чем низкое воздействие. Она эффективно контролирует и снижает уровень микробной обсемененности, что способствует более длительному сроку хранения продуктов. Эта доза обеспечивает баланс между стерилизацией и сохранением питательных веществ и вкусовых качеств. Высокое воздействие: Доза 9 кГр используется для глубокой стерилизации и значительного продления срока хранения продуктов. Это воздействие полностью уничтожает большинство микроорганизмов и патогенов, обеспечивая высокий уровень безопасности и долговечности продуктов. Применение высокой дозы требует тщательного контроля, чтобы не повлиять на текстуру и питательную ценность продукта. Каждая из этих дозировок выбирается в зависимости от требований к продукту и желаемого результата радиационной обработки [13].

В рамках эксперимента было проведено исследование влияния радиационного облучения на *Clostridium* spp., обнаруженные в различных пищевых продуктах – замороженная говядина, щука и котлеты рыбные.

Для исследования были взяты три вида продукта: говядина – 150 гр., щука – 150 гр., котлеты рыбные – 150 гр., предварительно упакованные при 40-60 атм. в полиэтиленовую пленку с толщиной слоя 5 мм. Пробы пищевых продуктов, замороженные при (-8) °С, в замороженном виде доставлялись в лабораторию для проведения экспериментальных исследований.

Последовательность выполнения эксперимента состояла из 3-ех этапов:

1. Первоначальное бактериологическое исследование: каждый продукт питания был подвергнут бактериологическому анализу для выявления наличия *Clostridium* spp. до обработки радиацией. Данные бактерии являются ключевыми показателями бактериальной порчи и потенциальной угрозы безопасности продуктов питания. Микроорганизмы могут вызвать неприятные запахи и токсичное загрязнение, что делает их важной целью для контроля.

2. Обработка радиацией: образцы пищевых продуктов были подвергнуты облучению различным дозам радиации:

- 1 Доза: 3 кГр (низкое воздействие радиации);
- 2 Дозы: 6 кГр (среднее воздействие радиации);

– 3 Дозы: 9 кГр (высокое воздействие радиации).

Схема облучения продукции на электронном ускорителе включает: расположение объекта в форме параллелепипеда; конвейерную ленту, движущуюся со скоростью  $V_{конв}$ ; два источника электронного излучения от ускорителей электронов с энергией 10 МэВ (рисунок 1).

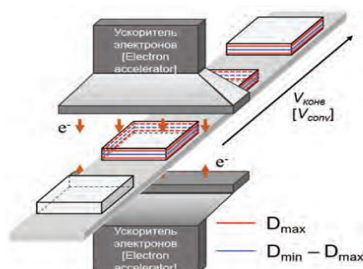


Рисунок 1 – Технология обработки на ускорителе ИЛУ -10

Рабочий режим работы ускорителя электронов: энергия 5 МэВ, ток пучка импульсный 350 мА; средний ток 4.3 мА; ширина сканирования 80 см; скорость конвейера 2.3 см/сек.

Важнейшей характеристикой радиационного метода является доза  $D$ , поглощенная объектом обработки. Она равна отношению средней энергии  $dE$ , поглощенной элементарным объемом  $dV$ , к массе  $dm$  вещества в этом объеме [11]:

$$D = dE / dm = 1 \text{ Дж/кг} = 1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$$

3. Анализ результата после обработки: после радиационного воздействия образцы были проанализированы с использованием классических микробиологических методов для оценки уменьшения бактериальной нагрузки. Полученные результаты сравнивались с нормами технического регламента Таможенного союза ТР 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции», с техническим регламентом ТР ЕАЭС 040/2016. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции».

Согласно техническим регламентам в пробах не допускается наличие сульфитредуцирующих клостридий в объеме 0,01 г.

Для оценки эффективности проведенного облучения, использовались стандартные методы исследования [7, 8].

Результаты экспериментов представлены в таблице 1, которая показывает наличие или отсутствие определенных микроорганизмов до и после обработки радиацией.

Таблица 1 – Содержание Clostridium spp. в пищевых продуктах до и после обработки электронным пучком ускорителя ИЛУ-10

Вид пищевого продукта	Сульфитред-е клостридии, не допускаются в массе продукта, (г)	До обработки	1 доза 3 кГр	2 доза 6 кГр	3 доза 9 кГр
Говядина	не допускается(*)	обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены
Щука	0,1(**)	обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены
Котлеты рыбные	0,1(**)	обнаружены	не обнаружены	не обнаружены	не обнаружены

\* – Технический регламент Таможенного союза ТР 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции»;

\*\* – Технический регламент ТР ЕАЭС 040/2016. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции».

Clostridium spp. являются анаэробными бактериями, способными восстанавливать сульфаты до сульфидов. Эти бактерии часто используются в микробиологических тестах для оценки качества и безопасности продуктов. В норме не допускается присутствие Clostridium spp. Анализ табличных данных позволил сделать следующие выводы:

– До обработки. В этой колонке указано состояние микробиологической среды до проведения какой-либо обработки. В данном случае, сульфитредуцирующие клостридии обнаружены в образцах, что свидетельствует о наличии этих бактерий до начала облучения на ИЛУ-10:

– 1 доза (3 кГр): результат после применения первой дозы обработки. "Не обнаружена" означает, что после первой дозы обработка была достаточно эффективной, чтобы нивелировать или значительно снизить количество сульфитредуцирующих клостридий до уровня, где они не обнаруживаются.

– 2 доза (6 кГр): в этой колонке представлена информация после применения второй дозы обработки. Поскольку также указано «Не обнаружена», можно заключить, что вторая доза не привела к обнаружению клостридий, и обработка была успешной.

– 3 доза (9 кГр): результаты после применения третьей дозы обработки также показывают «Не обнаружена», что подтверждает, что третья доза была достаточна для достижения полного уничтожения сульфитредуцирующих клостридий, она подтверждает эффективность дозы.

Сульфитредуцирующие клостридии были обнаружены до обработки, что говорит о наличии микробной контаминации. Однако после применения первой дозы обработки этих бактерий не обнаружено. Минимальной дозы в размере 3 кГр достаточно для уничтожения клостридий. Дозы 6,9 кГр также не выявили присутствия этих бактерий, что свидетельствует о высокой эффективности обработки.

Образцы были исследованы на органолептические показатели, данные представлены в таблице 2. Оценка производилась по 10 бальной шкале.

Таблица 2 – Общая бальная оценка органолептических свойств образцов пищевых продуктов до и после облучения на приборе ИЛУ -10.

Вид пищевого продукта	Доза	Цвет	Запах	Консистенция
Говядина	3 кГр	10±0,02	10±0,02	10±0,02
	6 кГр	9,8±0,02	9,83±0,02	9,85±0,02
	9 кГр	8,5±0,02	9,0±0,02	9,85±0,02
Щука	3 кГр	10±0,02	10±0,02	10±0,02
	6 кГр	9,81±0,02	9,80±0,02	9,85±0,02
	9 кГр	8,87±0,02	8,91±0,02	8,91±0,02
Котлеты рыбные	3 кГр	10±0,02	10±0,02	10±0,02
	6 кГр	9,80±0,02	9,83±0,02	9,83±0,02
	9 кГр	8,85±0,02	8,7±0,02	8,85±0,02

Таблица 2 предоставляет обширный анализ органолептических свойств различных образцов пищевых продуктов до и после облучения с использованием прибора ИЛУ – 10. Особое внимание уделяется оценке цвета, запаха и консистенции говядины, щуки и рыбных котлет при различных дозах облучения (3 кГр, 6 кГр и 9 кГр).

#### Говядина

Для говядины результаты показывают, что при дозе облучения 3 кГр органолептические свойства находятся на максимальном уровне: цвет, запах и консистенция получили высшую оценку в 10 баллов. Однако с увеличением дозы до 6 кГр наблюдается небольшое снижение качества: цвет сохраняет высокий балл 9,8, запах чуть снижается до 9,83, а консистенция остается на уровне 9,85. При дальнейшем увеличении дозы до 9 кГр органолептические свойства продолжают ухудшаться – цвет снижается до 8,5, запах до 9,0, а консистенция остается на уровне 9,85. Это свидетельствует о том, что высокие дозы облучения негативно влияют на цвет говядины, в то время как консистенция остаётся относительно стабильной.

#### Щука

Аналогично, щука при облучении на 3 кГр демонстрирует характеристики с оценкой максимально – 10 баллов по всем параметрам. С увеличением дозы до 6 кГр, цвет и запах начинают незначительно снижаться до 9,81 и 9,80 соответственно, в то время как консистенция остается на уровне 9,85. При облучении 9 кГр качество щуки существенно ухудшается: цвет снижается до 8,87, запах до 8,91, а консистенция также падает до 8,91. Эти данные подтверждают, что щука, как и говядина, теряет свои органолептические свойства при высоких дозах облучения, однако по сравнению с говядиной, щука показывает чуть более выраженное снижение в качестве запаха и цвета.

## Котлеты рыбные

Рыбные котлеты в группе 3 кГр также имеют наивысшую оценку 10 баллов по всем параметрам. При увеличении дозы до 6 кГр, цвет сохраняет высокую оценку 9,80, запах несколько снижается до 9,83, а консистенция – до 9,83. Однако при облучении на 9 кГр наблюдается более выраженное снижение органолептических характеристик: цвет и запах снижаются до 8,85 и 8,7 соответственно, а консистенция остается на уровне 8,85. Это говорит о том, что рыбные котлеты более подвержены изменениям при высоких дозах облучения, чем говядина и щука.

### Общий анализ

Сравнительный анализ показателей органолептических свойств трех исследуемых продуктов показывает, что все они сохраняют высокие показатели при дозах 3 и 6 кГр, но теряют свои качества при увеличении дозы облучения до 9 кГр. Наиболее стабильными в плане консистенции оказались говядина и рыбные котлеты, в то время как щука и рыбные котлеты продемонстрировали более резкое снижение оценок по цвету и запаху при более высоких дозах. Результаты анализа подчеркивают важность контроля дозы облучения для сохранения качества пищевых продуктов, что может иметь значительные последствия для пищевой промышленности и потребительских предпочтений.

### Обсуждение научных результатов

Результаты проведенного эксперимента продемонстрировали высокую эффективность радиационной обработки в снижении и уничтожении определенных бактерий в различных продуктах питания.

Ранее проводилось исследование Поляковой И.В. и др. по стерилизации рыбной продукции при помощи ускорителя ИЛУ-10, где автор отмечает максимальный антимикробный эффект при 6 кГр [14]. Наше исследование показывает, что достаточно дозы 3 кГр. Важно отметить, что эффективность радиационного облучения была достигнута при различных уровнях дозировки вне зависимости от вида испытуемого продукта животного происхождения, однако результаты эксперимента показали, что минимальная доза облучения, равная 3 кГр, оказалась достаточно эффективной для достижения желаемого эффекта. Эта доза позволяет существенно сократить бактериальную нагрузку на продукты, при этом минимизируя возможные изменения в их органолептических и питательных свойствах.

Таким образом, использование минимальной дозы радиационного облучения является рациональным подходом. Это обеспечивает оптимальное сочетание эффективности и сохранения качества продукта. Применение дозы 3 кГр позволяет достичь значительного снижения уровня сульфитредуцирующих клостридий, что делает этот метод более экономичным и менее затратным по сравнению с более высокими дозами радиации.

В заключение, все исследуемые продукты – говядина, щука и рыбные котлеты – достигают максимальных оценок (10 баллов) при применении дозы 3 кГр по таким органолептическим свойствам, как цвет, запах и консистенция, но и при дозе 6 кГр также сохраняются данные показатели. Это указывает на сохранение высоких вкусовых качеств и привлекательного внешнего вида, что особенно важно для потребителей. Обработка дозой 3 кГр способствует снижению микробной нагрузки, что повышает безопасность продуктов и продлевает их срок хранения без заметного ухудшения качества. Это важно для пищевой промышленности, так как позволяет уменьшить количество пищевых отходов и потерь.

### Заключение

Исследование подтверждает высокую эффективность радиационной обработки в снижении бактериального загрязнения различных продуктов питания. Радиация, вне зависимости от дозы, успешно уничтожила сульфитредуцирующие клостридии в пробах размером 0,01 г в тестируемых продуктах. Это свидетельствует о высокой эффективности данного метода в борьбе с микробиологическими загрязнениями.

Использование минимальной дозы облучения, равной 3 кГр, оказалось достаточным для прекращения роста и размножения сульфитредуцирующих клостридий, которые известны своей способностью вызывать порчу продуктов и пищевые заболевания. Эта доза радиации эффективно устраняет бактерии, сохраняя при этом физико-химические и органолептические свойства продукта. Радиационная обработка представляет собой перспективное решение

для повышения безопасности продуктов питания и продления срока хранения скоропортящихся продуктов.

Преимущества радиационной обработки включают следующие аспекты:

1. *Эффективность*: Радиоэлектронное облучение уничтожает широкий спектр микроорганизмов, включая споры бактерий и вирусы, что делает его универсальным методом стерилизации. В отличие от многих традиционных методов, таких как термическая обработка или использование химических консервантов, радиация обладает способностью эффективно воздействовать на разнообразные микробные контаминации [13]. Это делает радиационную обработку особенно полезной для обработки продуктов, подверженных высоким рискам микробиологического загрязнения.

2. *Безопасность*: Одним из ключевых преимуществ радиационной обработки является отсутствие необходимости применения химических веществ. Это исключает риск наличия остаточных химикатов в продуктах, что важно для обеспечения их безопасности и соответствия современным стандартам качества [14]. Отсутствие химических добавок также снижает риск аллергических реакций и других негативных последствий для здоровья потребителей.

3. *Сохранение качества*: Радиоэлектронное облучение не вызывает значительных изменений в органолептических свойствах и питательной ценности продуктов. В отличие от других методов, таких как кипячение или использование химических консервантов, радиационная обработка сохраняет вкус, текстуру и основные питательные вещества продукта [15,16]. Это позволяет улучшить безопасность продуктов без компромиссов по их качеству.

Результаты исследования подчеркивают важность и целесообразность использования радиационной обработки в пищевой промышленности. Метод обеспечивает надежную защиту продуктов от бактериального загрязнения, что способствует увеличению их срока хранения и повышению общего уровня безопасности питания. Это позволяет снизить потери продовольствия и минимизировать риск связанных с продуктами заболеваний, что имеет особое значение в условиях современного производства и потребления пищи.

### Список литературы

1. Review on Spoilage Microorganisms in Fresh and Processed Aquatic Food Products / A. Tahiluddin et al // Food Bulletin. – 2022. – Vol. 1. – P. 21-36.
2. Molins R.A. Irradiation: a critical control point in ensuring the microbiological safety of raw foods / R.A. Molins, Y. Motarjemi, F.K. Käferstein // Food Control. – 2001. – Vol.12, Issue 6. – P. 347-356.
3. Irradiation as a Promising Technology to Improve Bacteriological and Physicochemical Quality of Fish / E.F.E. Mohamed et al // Microorganisms. – 2023. – Vol.11, Issue 5. – P. 1105.
4. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Современная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты. – М.: Весь Мир, 2007. – 21 с.
5. Statement Summarizing the Conclusions and Recommendation from the Opinions on the Safety of Irradiation of Food adopted by the BIOHAZ and CEF Panels. European Food Safety Authority. EFSA Journal. – 2011. – Vol. 9, № 4. – P. 2107. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2107>.
6. Сравнительная эффективность различных режимов импульсного линейного ускорителя электронов при облучении пряностей и специй, обсемененных микроорганизмами / Е.П. Пименов и др. // Теория и практика современной науки. – 2016. – № 12-2(18). – С. 60-65.
7. ГОСТ ISO/TS 17728-2017. Микробиология пищевой цепи. Методы отбора проб пищевой продукции и кормов для микробиологического анализа. – Введен 27.09.2017: Стандартиформ, 20 с.
8. ГОСТ 29185-2014. Методы выявления и подсчета сульфитредуцирующих бактерий, растущих в анаэробных условиях (ISO 15213:2003, MOD). – Введен 23.09.2014., М: Стандартиформ, 11 с.
9. Effect of broiler breast abnormality and freezing on meat quality and metabolites assessed by <sup>1</sup>H-NMR spectroscopy / F. Soglia et al // Poultry Science. – 2019. – Vol. 98. – № 12. – P. 7139-7150. <https://doi.org/10.3382/ps/pez514>.
10. Characterization of clostridial species and sulfite-reducing anaerobes isolated from foiegras with respect to microbial quality and safety / P. Sylviane et al // Food Control. – 2013. – Vol. 32, Issue 1. – P. 222-227/

11. Doyle C.J. Genomic Characterization of Sulphite Reducing Bacteria Isolated From the Dairy Production Chain / C.J. Doyle, P.W. O'Toole, P.D. Cotter // *Front Microbiol.* – 2018. – Vol. 9. – P. 1507.
12. Ермоленко З.М. Микробиологическая порча пищевых продуктов и перспективные направления борьбы с этим явлением / З.М. Ермоленко, Н.К. Фурсова // *Бактериология.* – 2018. – № 3. – С. 46-57.
13. Радиационная дозиметрия / Под ред. Хайна Дж.и Браунелла Г. // Пер. с англ. М.: Иностран.лит., 1958. – 758 с.
14. Исследования эффективности холодной стерилизации рыбных пресервов электронным излучателем в зависимости от дозиметрических параметров облучения / И.В. Полякова и др. // *Радиация и риск (Бюллетень НРЭР).* – 2017. – № 2.
15. Microbial Indicators and Their Use for Monitoring Drinking Water Quality – A Review / X. Wen et al // *Sustainability.* – 2020. – Vol. 12. – P. 2249.
16. Automated application of low energy electron irradiation enables inactivation of pathogen- and cell-containing liquids in biomedical research and production facilities / J. Fertey et al // *Sci Rep.* – 2020. – Vol. 10(1). – P. 12786.

### References

1. Review on Spoilage Microorganisms in Fresh and Processed Aquatic Food Products / A. Tahiluddin et al // *Food Bulletin.* – 2022. – Vol. 1. – P. 21-36. (In English).
2. Molins R.A. Irradiation: a critical control point in ensuring the microbiological safety of raw foods / R.A. Molins, Y. Motarjemi, F.K. Käferstein // *Food Control.* – 2001. – Vol.12, Issue 6. – P. 347-356. (In English).
3. Irradiation as a Promising Technology to Improve Bacteriological and Physicochemical Quality of Fish / E.F.E. Mohamed et al // *Microorganisms.* – 2023. – Vol.11, Issue 5. – P. 1105. (In English).
4. Kodeks Alimentarius. Obluchennye produkty pitaniya. Sovremennaya programma FAO/VOZ po standartam na pishchevye produkty. – M.: Ves' Mir, 2007. – 21 s. (In Russian).
5. Statement Summarizing the Conclusions and Recommendation from the Opinions on the Safety of Irradiation of Food adopted by the BIOHAZ and CEF Panels. European Food Safety Authority. *EFSA Journal.* – 2011. – Vol. 9, № 4. – R. 2107. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2107>. (In English).
6. Sravnitel'naya ehffektivnost' razlichnykh rezhimov impuls'nogo lineinogo uskoritelya ehlektronov pri obluchenii pryanostei i spetsii, obsemenennykh mikroorganizmami / E.P. Pimenov i dr. // *Teoriya i praktika sovremennoi nauki.* – 2016. – № 12-2(18). – С. 60-65. (In Russian).
7. GOST ISO/TS 17728-2017. Mikrobiologiya pishchevoi tsepi. Metody otbora prob pishchevoi produktsii i kormov dlya mikrobiologicheskogo analiza. – Vveden 27.09.2017: Standartinform, 20 s. (In Russian).
8. GOST 29185-2014. Metody vyyavleniya i podscheta sul'fitredutsiruyushchikh bakterii, rastushchikh v anaerobnykh usloviyakh (ISO 15213:2003, MOD). – Vveden 23.09.2014., M: Standartinform, 11 s. (In Russian).
9. Effect of broiler breast abnormality and freezing on meat quality and metabolites assessed by 1 H-NMR spectroscopy / F. Soglia et al // *Poultry Science.* – 2019. – Vol. 98. – № 12. – P. 7139-7150. <https://doi.org/10.3382/ps/pez514>. (In English).
10. Characterization of clostridial species and sulfite-reducing anaerobes isolated from foiegras with respect to microbial quality and safety / P. Sylviane et al // *Food Control.* – 2013. – Vol. 32, Issue 1. – P. 222-227. (In English).
11. Doyle C.J. Genomic Characterization of Sulphite Reducing Bacteria Isolated From the Dairy Production Chain / C.J. Doyle, P.W. O'Toole, P.D. Cotter // *Front Microbiol.* – 2018. – Vol. 9. – P. 1507. (In English).
12. Ermolenko Z.M. Mikrobiologicheskaya porcha pishchevykh produktov i perspektivnye napravleniya bor'by s ehtim yavleniem / Z.M. Ermolenko, N.K. Fursova // *Bakteriologiya.* – 2018. – № 3. – S. 46-57. (In Russian).
13. Radiatsionnaya dozimetriya / Pod red. Khaina Dzh.i Braunella G. // Per. s angl. M.: Inostr.lit., 1958. – 758 s. (In Russian).
14. Issledovaniya ehffektivnosti kholodnoi sterilizatsii rybnykh preservov ehlektronnym izluchatelem v zavisimosti ot dozimetricheskikh parametrov oblucheniya / I.V. Polyakova i dr. // *Radiatsiya i risk (Byulleten' NREHR).* – 2017. – № 2. (In Russian).

15. Microbial Indicators and Their Use for Monitoring Drinking Water Quality – A Review / X. Wen et al // Sustainability. – 2020. – Vol. 12. – P. 2249. (In English).
16. Automated application of low energy electron irradiation enables inactivation of pathogen- and cell-containing liquids in biomedical research and production facilities / J. Fertey et al // Sci Rep. – 2020. – Vol. 10(1). – P. 12786. (In English).

### **Информация о финансировании**

*Данное исследование выполнено в рамках научно-технической программы BR21882447 – «Разработка системы обеспечения безопасности пищевых продуктов в условиях длительного хранения на основе электрофизических и радиационных методов обработки», финансируемой Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан.*

**А.Н. Нургазезова, Г.Н. Нұрымхан, Э.С.Абдуллина\*, Ш.К. Жакупбекова, А.О. Майжанова**

Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20 А  
\*e-mail: elmira.abdullyna@gmail.com

### **CLOSTRIDIUM SPP-ГЕ ҚАТЫСТЫ ДОЗИМЕТРИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРГЕ БАЙЛАНЫСТЫ ИЛУ-10 ЭЛЕКТРОНДЫ ҮДЕТКІШІНДЕ СИЫР ЕТІН, БАЛЫҚТЫ, БАЛЫҚ ЖАРТЫЛАЙ ФАБРИКАТЫН ӨНДЕУ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ**

*Бұл мақалада бактериялық ластануды бақылау арқылы (сульфитредуктивті клостридий- Clostridium spp) тамақ өнімдерінің жарамдылық мерзімін ұзарту мақсатында "ИЛУ-10" электронды үдеткішінің көмегімен радиациямен өңдеу тиімділігін бағалау үшін аккредиттелген сынақ зертханасында жүргізілген зерттеу нәтижелері келтірілген.*

*ИЛУ-10 құралы химиялық заттарды қолданбай патогендік микроағзаларды, соның ішінде бактерияларды, вирустарды және саңырауқұлақтарды жою мақсатында өнімдерді зарарсыздандыруға және дезинфекциялауға арналған. Бұрын жүргізілген зерттеулер сульфитредуктивті клостридиялардың тамақ өнеркәсібіндегі микробиологиялық бақылаудың маңызды көрсеткіші екенін көрсетті. Олар тағамның бұзылуының себебі болып табылады, клостридияның кейбір түрлері адамның ас қорыту жүйесінің жаппай ауруын тудыруы мүмкін. Зерттеудің мақсаты 3-тен 9 кГр-ға дейінгі диапазонда әртүрлі сәулелену дозаларымен Clostridium spp бактериялық ұрықтануын азайту үшін осы құрылғының тиімділігін бағалау болды. Эксперименттік жұмыста стандартты зерттеу әдістері қолданылды. Сиыр етінің, балықтың (шортанның), балық котлеттерінің бактериялық ұрықтануын азайту үшін 3 кГр-ға тең доза жеткілікті екендігі анықталды. Жалпы, бактерияға қарсы максималды әсерге үш дозада (3,6,9, КГр) қол жеткізілді.*

*Түйін сөздер: ИЛУ-10, Clostridium spp, сульфитредуктивті клостридиялар, тамақ өнімдері, зарарсыздандыру, сәулелену, микробиологиялық қауіпсіздік, тағам қауіпсіздігі.*

**A.N. Nurgazezova, G.N. Nurymkhan, E.S. Abdullina\*, Sh.K. Zhakupbekova, A.O. Mayzhanova**

Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinki str., 20 A  
\*e-mail: elmira.abdullyna@gmail.com

### **EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF PROCESSING BEEF, FISH AND FISH SEMI-FINISHED PRODUCTS USING THE ILU-10 ELECTRON ACCELERATOR, DEPENDING ON THE DOSIMETRIC PARAMETERS IN RELATION TO CLOSTRIDIUM SPP**

*This article presents the results of a study the effectiveness of radiation treatment using the ILU-10 electron accelerator in order to extend the shelf life of food products by controlling bacterial contamination (sulfite-reducing clostridium – Clostridium spp.).*

*The ILU-10 device is designed for sterilization and disinfection of products without the use of chemicals. Clostridia spp. are an important indicator of microbiological control in the food industry. They are the cause of food spoilage, and some types of clostridium can cause massive disease of the human digestive system. The aim of the study was to evaluate the effectiveness of this device in reducing of Clostridium spp. with different radiation doses in the range from 3 to 9 kGr. It was found that a dose of 3 kGr is sufficient to reduce bacterial contamination of beef, fish (pike), and fish cutlets. In general, the maximum antibacterial effect was achieved at three doses.*

**Key words:** *ILU-10, Clostridium spp., sulfite-reducing clostridium, food products, sterilization, radiation exposure, microbiological safety, food safety.*

#### Сведения об авторах

**Алмагуль Нургазезовна Нургазезова** – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Руководитель Центра подготовки и аттестации научных кадров; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: [almanya1975@mail.ru](mailto:almanya1975@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5632-638X>.

**Гульнур Несиптайқызы Нұрымхан** – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, декан исследовательской школы пищевой инженерии; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: [gulnu-n@mail.ru](mailto:gulnu-n@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0955-3520>.

**Эльмира Сайлаубаевна Абдуллина\*** – магистр ветеринарных наук, научный сотрудник «Агротехнопарк»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: [elmira.abdullyna@gmail.com](mailto:elmira.abdullyna@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8558-329X>.

**Шугыла Кадыровна Жакупбекова** – магистр технических наук, докторант кафедры «Пищевая технология»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: [siyanie\\_\\_88@mail.ru](mailto:siyanie__88@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7558-9871>.

**Айгуль Омарбековна Майжанова** – магистр технических наук, докторант кафедры «Пищевая технология»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: [fquekm2710@mail.ru](mailto:fquekm2710@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-9465>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Алмагуль Нургазезовна Нургазезова** – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ғылыми кадрларды даярлау және аттестаттау орталығының басшысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: [almanya1975@mail.ru](mailto:almanya1975@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5632-638X>.

**Гүлнур Несіптайқызы Нұрымхан** – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, тамақ инженериясы ғылыми-зерттеу мектебінің деканы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: [gulnu-n@mail.ru](mailto:gulnu-n@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0955-3520>.

**Эльмира Сайлаубайқызы Абдуллина\*** – ветеринария ғылымдарының магистрі, «Агротехнопарк» ғылыми қызметкері; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: [elmira.abdullyna@gmail.com](mailto:elmira.abdullyna@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8558-329X>.

**Шугыла Кадыровна Жакупбекова** – техника ғылымдарының магистрі, «Тамақ технологиясы» кафедрасының докторанты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: [siyanie\\_\\_88@mail.ru](mailto:siyanie__88@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7558-9871>.

**Айгуль Омарбековна Майжанова** – техника ғылымдарының магистрі, «Тамақ технологиясы» кафедрасының докторанты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: [fquekm2710@mail.ru](mailto:fquekm2710@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-9465>.

#### Information about the authors

**Almagul Nurgazezovna Nurgazezova** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Head of the Center for Training and Certification of Scientific Personnel, Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: [almanya1975@mail.ru](mailto:almanya1975@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5632-638X>.

**Gulnur Nesiptaykyzy Nurymkhan** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Dean of the Research School of Food Engineering, Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: [gulnu-n@mail.ru](mailto:gulnu-n@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0955-3520>.

**Elmira Sailaubayeva Abdullina\*** – Master of Veterinary Sciences, Researcher at Agrotechnopark; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: [elmira.abdullyna@gmail.com](mailto:elmira.abdullyna@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8558-329X>.

**Shugyla Kadyrovna Zhakupbekova** – Master of Technical Sciences, doctoral student of the «Department of Food Technology»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: [siyanie\\_\\_88@mail.ru](mailto:siyanie__88@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7558-9871>.

**Aigul Omarbekovna Mayzhanova** – Master of Technical Sciences, doctoral student of the «Department of Food Technology»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: [fquekm2710@mail.ru](mailto:fquekm2710@mail.ru). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4845-9465>.

*Поступила в редакцию 04.09.2024*

*Поступила после доработки 20.09.2024*

*Принята к публикации 23.09.2024*



**Б.К. Асенова\***, **Л.М. Турсунғалиева<sup>1</sup>**, **Г.Т. Туменова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Глинки көшесі 20 А

<sup>2</sup>Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,  
150000, Қазақстан Республикасы, Петропавл қ., Пушкин көш. 86

\*e-mail: asenova.1958@mail.ru

## ТАМАҚ ӨНЕРКӘСІБІНДЕ ТАРЫ (ТАЛҚАН) ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

**Аңдатпа:** Қазақ халқының дұрыс тамақтану мәселелерін шешудің негізгі бағыттарының бірі болып – азық-түлік өнімдерінің, соның ішінде қазақ халқының ұлттық өнімдерінің ассортиментін кеңейту және олардың тағамдыққұндылықтарын жоғарылату болып табылады. Әдеби дереккөздерді талдау талқанның тұтынушылық қасиеттерін арттырудың осы кезге дейін көптеген әдістерінің бар екендігін көрсетеді. Таңдалынып алынған дақылдар осы тізімде жетекші орын алады және талқанның тұтынушылық сапасын, құндылығын арттырудың маңызды факторлары болып табылады. Дұрыс таңдалынып алынған өнімдер талқанның тағамдық құндылығының артуына, тұтынушылық сапасының жоғарылауына әсер етеді. Сондықтан бұл мақалада талқанның дақылдармен байытылған рецептурасы, органолептикалық, физика-химиялық мәндерін зерттеу деректері көрсетілген.

Дәнді дақылдар тары, талқан, жент олар біздің халқымызға ежелден белгілі және оларды дайындауда үлкен тәжірибелері бар, оларды минералдар мен дәрумендерді қосып байытудың қолайлы нысаны, өйткені олар күнделікті тұтытудағы қазақ дастарханының негізгі тағамдардың бірі болып табылады. Осы аталған өнімдерге пайдасы көп қоспалардың қосылуы адамдар тағамдарының тағамдық және биологиялық құндылығын тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Соған байланысты қазір перспективті бағыттардың бірі белгілі формулаға функционалды байыту қоспаларын қоса отырып, профилактикалық және емдік қасиеттері бар тағамдық технологияны әзірлеп, ойлап табу болып табылады.

**Түйін сөздер:** тары, талқан, органолептикалық, физика-химиялық көрсеткіштер, тағамдық құндылық, биологиялық құндылық, жарма.

### Кіріспе

Қазақстанда XVIII ғасырдан XX ғасырға дейінгі ұннан жасалған өнімдер қыстамүлікке дейін пайдаланылған. Негізгі қолданылған дақылдар сирек бидай, тары, қарабидай болған. Қазақ халқы дәстүрлі түрде шай өнімін көп тұтынады. Ал соңғы уақытқа дейін шайға талқан, сонымен қатар, кілегей, қаймақ, сүт, қант немесе тұз қосқан. Қазіргі уақытқа дейін дәстүр бойынша тарыны шаймен бірге тұтынылды. Бұл кездейсоқтық емес екені анық. Қазақ халқының мәзіріне ауыл шаруашылық өнімдері салыстырмалы түрде кеш кірген. Қазақ халқына белгілі болып саналған алғашқы астық болып табылады. Содан кейін халықтың дастарқанында ұлттық жарма ретінде негізгі орынды иеленді. Сондай -ақ тарыдан, талқаннан қазіргі уақытта тамақ өнеркәсібінде қолдану перспективалары, соның ішінде диеталық тамақтану бойынша, кондитерлік өнімдерді өндіру, адамзат денсаулығына тиімді сусындарды өндіру, нан-тоқаш өнеркәсібі негізінде кең қолданылып келеді [1].

Тары ежелгі заманнан бері азық-түлік өнімдерінің бірі болып табылады. Тары Моңғолияда, Қытай елінде Батыс Сібір халықтарында көп кездеседі және маңызды дәнді дақылдың бірі болып табылады. Көптеген түркітілдес халықтардың мәдениетінде бидай, тары, арпа, жүгері, сұлы дәндерінен жасалған ұн талқан өнімдері кездеседі. Тары дәні йод, фосфор өте бай және ет өнімдеріне қарағанда тары құрамында көп. Тары құрамында жемістер, нан, басқа жармалар, көкөністерге қарағанда тары да магний көп. Сол үшін адам организміне қажетті ең маңызды элементтерінің көзі [2,3].

Е.В. Морозова мен П.В. Шиголоков тағамдық құндылығы жоғары «талқан» құрғақ қоректік қоспасын ойлап тапты. Авторлар астық негізі ретінде алдын ала сары түске дейін құырылған дәннің иісі бар бидайды қолданды. Содан кейін оны ұнтақтап, оған құрғатылған дәрілік өсімдіктерді енгізді. Сонымен қатар, өсімдік шикізатын қолданар алдында 6%-дан аспайтын ылғалдылыққа дейін кептіріп, 0,5 мм ден аспайтын бөлшектерге бөледі. Өнертабыс

тағамдық құндылығы жоғары, радиопротекторлық және антиоксиданттық қасиеттері бар өнімді алуға мүмкіндік береді [4].

Кептірілген құрғақ қоректік қоспаны алу әдісі белгілі, оның ішінде астық негізін жуу, ұнтақтау, қуыру. Инжу, арпа немесе тары жармасының қуырылған астық негізіне бидай кебегі мен курил бұта шайының өсінділері енгізіледі, бұл қант диабетінің алдын алуға ықпал ететін өнімді алуға мүмкіндік береді [5].

Б.К. Идгеев өзінің алғашқы қызметін тары жармасын өндіру тәсілін әзірлеп, ойлап табудан бастады. 1989 жылы Б.К. Идгеев Р.К. Бексұлтанованың авторлығымен қазақ халқының ұлттық тағамы дәстүрлі емес тамақ концентратынан тары өндірісінің тиімді технологиясы әзірленіп, зерттелді. Бұл әдіс 30-40 минут қайнатып, 230 -250 °С температурада кептіріп, қуыруды қамтиды және тары дәнінен тікелей өндірілген қайнатылған тары жармасы түріндегі дайын өнім органолептикалық көрсеткіштерге, ерекше хош иіске, жоғары тағамдық құндылыққа және ферменттердің толық тұрақтануына байланысты жақсы сақтау қабілеттеріне ие [6].

Сонымен қатар, Ф.М. Кадыров және тағы басқа ғалымдар (Орта Азия ғылыми зерттеу институты және тамақ өнеркәсібінің жобалау институты, 1991 ж.) ұзақ мерзімге сақталатын талқан тағамын өндіру әдісі ұсынылып, ол бірнеше ингредиенттерді яғни негізгі ингредиент алдын ала термиялық өңдеуден өткен ұсақталынған күрішті араластыруды қамтыды. Авторлар ұсталған күріш ретінде тазарту кезінде сынып пайда болған күріш қалдықтарын пайдалануды ұсынды [7].

### **Зерттеу шарттары мен әдістері**

Өсімдік қоспаларымен байытылған, биологиялық және тағамдық құндылығы артқан талқанды зерттеу объектісі ретінде қарастырылды. Талқан өнімдерін дайындау үшін пайдаланылатын шикізаттың нормативтік-техникалық құжаттаманың талаптары бойынша сәйкес келуі керек.

Талқан жарма өнімінің сапасына талдау жасау нормативтік-техникалық құжаттамада баяндалған әдістер бойынша жүргізілді. Органолептикалық көрсеткіштерді және МЕМСТ 15113.3-77 бойынша пайдалануға дайындығын анықталды; МЕМСТ 15113.4-77 бойынша ылғалдылық көрсеткіші анықталды; МЕМСТ 15113.1-77 бойынша ұнтақтап, ұсақтау көлемі анықталды; МЕМСТ 15113.8-77 бойынша күлдің массалық үлесі анықталды; МЕМСТ 15113.2 – 77 бойынша астық құрамындағы қоспалар мен жәндік – зиянкестермен залалдануын анықталды [8].

Зерттеу нәтижесі талқан ұлттық жарма өнімінің технологиясын зерттеу және әзірлеу мақсатында жарма өнімін өндірудің зертханалық технологиялық схемасы ойлап табылып, шикізаттардың сорбциялық қасиеті анықталып, термиялық өңдеу параметрлерінің, оның ішінде органолептикалық көрсеткіштері мен биохимиялық қасиеттері зерттелді. Жүргізілген зерттеу негізінде жоғары сапалы жарма өнімін алу үшін қажетті шикізаттарды ылғалды жылумен өңдеудің оңтайлы режимдері анықталды. Зерттеліп анықталған режимдерге эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Алынған жарма өнімін ұзақ сақтау кезіндегі төзімділігі мен химиялық құрамы зерттелді. Аныталған мәліметтер қазақ халқының ұлттық талқан жарма технологиясын әзірлеу үшін негіз болды.

Сонымен тары дәнін ұсақтауға кеңес беріледі. Ал алынған өнім дары дәні ретінде сипатталады. Өсімдік қоспаларын қосу арқылы тағамдық және биологиялық құндылығы артылған өнім құрамында: 65% талқан; 15% мүкжидек; 5,0% қант; 5,0% бал; 10,0% кондитерлік май.

Компоненттерді таңдау кезінде рН мәні төмен (4,0-ке дейін) өнімді жасау мақсатында олардың технологиялық қасиеттері, физика-химиялық көрсеткіштері ескеріледі. Талқан жоғары тағамдық құндылыққа ие және құрамында: 11% ақуыз; 2,8% май; 68,3% көмірсулар, оның ішінде 64,6% крахмал және 0,6% талшық; 1,2% күл. Тарыны жармаға өңдегенде оның полисахаридтері айтарлықтай өзгереді, бұл декстриндер мен мальтозаның жиналуынан көрінеді.

Мүкжидек А, К, С, В1, В2, В3, В6, В9 және тағы басқа дәрумендерге бай. Сонымен қатар, құрамында йод, калий, темір, йод, кальций, мырыш, натрий бар. 100 г мүкжидектің калориялығы 50 ккал құрайды. 1-кестеде 100 г мүкжидекке шаққанда тағамдық заттарының мөлшері келтірілген. Мүкжидек кептіріліп, үгітілген түрінде де өзінің пайдалы қасиеттерін жоғалтпайды. Сол сияқты құрамындағы макро- және микроэлементтер: магний, кальций,

темір, мырыш, натрий, мыс, калий, марганец, фосфор, селен болып табылады. 1 кестеде көрсетілген [9,10].

Кесте 1 – Мүкжидектің химиялық құрамы

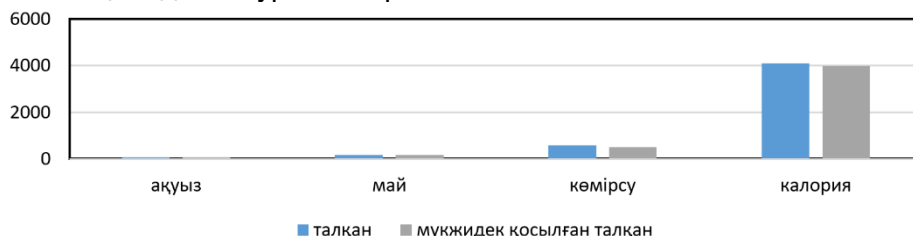
Құрамы	Мөлшері мг
Ақуыздар	0,4
Майлар	0,13
Көмірсулар	12,20
Тағамдық талшықтар	3,3
Су	87
Күл	0,3
Йод	0,06
Натрий	1
Калий	119
Магний	15
Темір	5
Фосфор	11

Келтірілген шикізат пен дайын өнімнің сапасы органолептикалық көрсеткіштерді зерттеу негізінде бағаланып, өнімді дайындау кезінде қасиеттерінің өзгеруіне ерекше көңіл бөлінді. Өнім тұтынуға дайын болған соң, берілген өнім сапасына қойылатын талаптарына сәйкес дегустациялық комиссия жүргізілді. Әрбір көрсеткіш бойынша дегустаторлардың қойған бағаларының арифметикалық орташа мәні анықталды. Тәжірибелік зерттеулер бірнеше рет қайталанып жүргізілді және математикалық әдістермен өңделінді. Нәтижесінде, 2 – үлгі жоғары баллға ие болды. 2-кестеде көрсетілген.

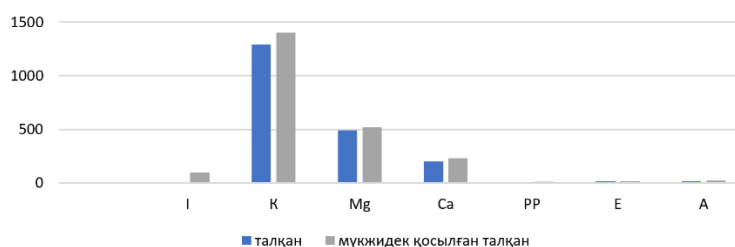
Кесте 2 – Дайын өнімнің органолептикалық көрсеткіштері

Үлгі	Түрі	Дәмі	Иісі	Консистенциясы	Орташа балы
1	4,1	4,3	4,4	4	4,2
2	5	5	5	5	5
3	4,5	4,8	4,5	4	4,5

Мүкжидек қосылған кездегі талқанның калориялылығы аздап төмендейді (1-сурет), ал бірақ тағам құрамындағы адам ағзасына қажетті макро және микроэлементтер, дәрумендер мөлшері өсетіні байқалады. 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1 – Талқанның тағамдық құндылығымен химиялық құндылығы



Сурет 2 – Талқанның тағамдық құндылығы мен химиялық құрамы

### Ғылыми нәтижелерді талқылау

Зерттеу әдістері мен материалдары арнайы МЕМСТ нормаларына сәйкес зерттеліп, анықталды. Анықталған зерттеулер нәтижесінде рН-тың мәні есептелініп анықталды. Зерттеулер мен тәжірибелер арнайы ғылыми орталықта жүргізілген. Нақтырақ алғанда, микробиологиялық және физика химиялық сапа көрсеткіштерін анықтау жүргізілді.

Дайын өнімнің органолептикалық талдау жүргізу үшін салмағы 300 г әр үлгінің сынамалары алынды. Физика-химиялық сынақтарға өнімнің әр түрінен салмағы 150 г сынама жіберілді. Микробиологиялық талдау үшін нүктелік сынама алынды, содан кейін салмағы 150 г болатын жалпы сынамаға біріктірілді.

Зерттелген нәтижелерді салыстыра отырып, мүжидек қосылған талқанның тағамдық және биологиялық құндылығы едәуір артқаны байқалады.

### **Қорытынды**

Анықталған жеке фракциялардың құрамы бойынша тары ақуыздары бидай ұнының ақуыздарына жақын. Бірақ, тары ақуыздары глютенді қалыптастыра алмайды, яғни бұл осы дақылдың жетіспеушілігінен гөрі артықшылық болып табылады.

Глютенсіз тағамдар қазіргі уақытта осы нарықтың маңызды сегменттерінің бірін құрайды. Денсаулық үшінөмір бойы глютенсіз диетаны ұстанып, тамақтану целиак ауруы бар адамдар үшін жалғыз емдік құрал болып табылады. Осыған байланысты тарының глютенді қалыптастырмау қасиеті өте құнды және оны тамақ өнеркәсібінде пайдалану үшін үлкен перспективалар ашып қана қоймай, түрлі технологиялардың пайда болуына әкеледі. Аталған тағамдарға пайдалы қоспаларды қосу арқылы адам тағамының тағамдық және биологиялық құндылығын тиімді етіп реттеуге мүмкіндіктер береді. Соғанбайланысты рецептураға функционалды әрі байытқыш қоспаларды қосу, профилактикалық қасиеті бар, белгілі бір арнайы бағыттағы тағамдар технологияларын ойлап тауып, жасау перспективті бағыт болып саналады.

Жүргізілген зерттеу жұмыстары бойынша мүжидек қосылған талқанның құрамында фосфор, калий, кальций, Е дәрумендерінің, йод, макро және микро элементтердің үлесі жоғары екені анықталды. Зерттеулерден алынған нәтижеге сүйене отырып, келесі қорытынды жасалды: жүргізілген зерттеу нәтижелері талқанның биологиялық және тағамдық құндылығы артты. Нәтижесінде, мүжидек қосылған талқан рецептурасы бойынша сапа көрсеткіштерінде ең жақсы көрсеткіштерді көрсетті.

### **Әдебиеттер тізімі**

1. Исследование крупяных зерновых культур / Б.К. Асенова и др. // Пищевая технология и сервис, Алматы, АТУ, 2016. – № 1. – С. 42-49.
2. Атабаева Х.Н. Биология зерновых культур / Х.Н. Атабаева // Ташкент: Государственное научное издательство «Узбекистан миллиэнциклопедияси», 2015. – 204 с.
3. Пат. 31216 Республика Казахстан, МПК A23L 1/00. Зерновая композиция / Смольникова Ф.Х., Асенова Б.К., Конганбаев Е.К.; заявитель и патентообладатель Университет имени Шакарима г. Семей; заявл. 26.01.2015; опубл.: 19.05.2016, Бюл. № 6. – 3 с.
4. Пат. 2234224 Российская Федерация, МПК A23L 1/29. Сухая питательная смесь «Талкан» / Е.В. Морозова. П. В. Шиголоков; опубл. 20.08.2004, Бюл. № 6.
5. Пат. 2156084 Российская Федерация, МПК A23L 1/29 (2006.01); A23L 1/10(2006.01). Способ получения сухой питательной смеси / Аюшев О.Г. и др.; заявитель и патентообладатель Восточно-Сиб. Гос-ый тех. унив-т Институт общей и экспериментальной биологии Сиб. отделения РАН. – заявл. 31.07.1997; опубл. 10.11.1999. – 7 с.
6. Совершенствование технологии зерновых продуктов с использованием зародыша зерна пшеницы / К.Ж. Амирханов и др. // Монография. Изд. «Эпиграф» в г. Алматы, 2019.
7. Пат. SU1688827A1 СССР, МПК A23L1/10. Способ производства блюда длительного хранения «Талкан» / Кадыров Ф.М. и др.; заяв. и патентообладатель Среднеазиатский научно-исслед.и проектно-конструкт. инст-т пищ.промышленности. – № 4727484/13; заявл. 07.08.1989; опубл. 07.11.1991, Бюл. № 41.
8. Иннов. пат. 31120 Республика Казахстан, МПК A23L 1/064, A23L 1/10. Способ получения сухой питательной смеси на зерновой основе / Нургазезова А.Н. и др.; заяв. Патентообладатель Нургазезова А.Н. и др. – заявл. 20.12.2014; опубл. 16.05.2016, Бюл. № 5.
9. Асенова Б.К. Астық түйірді сақтау және өндеу технологиясы: оқу құралы / Б.К. Асенова, С.К. Касымов. – Алматы: Эпиграф, 2019. – 152 б.
10. Асенова Б.К. Обработка и хранение продукции растениеводства: уч. Пособие / Б.К. Асенова, Ф.Х. Смольникова. – Алматы: Эпиграф, 2019. – 251 с.

## References

1. Issledovanie krupyanykh zernovykh kul'tur / B.K. Asenova i dr. // Pishchevaya tekhnologiya i servis, Almaty, ATU, 2016. – № 1. – S. 42-49. (In Russian).
2. Atabaeva KH.N. Biologiya zernovykh kul'tur / KH.N. Atabaeva // Tashkent: Gosudarstvennoe nauchnoe izdatel'stvo «Uzbekistan milliehnitsiklopediyasi», 2015. – 204 s. (In Russian).
3. Pat. 31216 Respublika Kazakhstg, MPK A23L 1/00. Zernovaya kompozitsiya / Smol'nikova F.KH., Asenova B.K., Konganbaev E.K.; zayavitel' i patentoobladatel' Universitet imeni Shakarima g. Semei; zayavl. 26.01.2015; opubl.: 19.05.2016, Byul. № 6. – 3 s. (In Russian).
4. Pat. 2234224 Rossiiskaya Federatsiya, MPK A23L 1/29. Sukhaya pitatel'naya smes' «TalkaN» / E.V. Morozova. P. V. Shigolokov; opubl. 20.08.2004, Byul. № 6. (In Russian).
5. Pat. 2156084 Rossiiskaya Federatsiya, MPK A23L 1/29 (2006.01); A23L 1/10(2006.01). Sposob polucheniya sukhoi pitatel'noi smesi / Ayushev O.G. i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' Vostochno-Sib. Gos-yi tekh. univ-t Institut obshchei i ehksperimental'noi biologii Sib. otdeleniya RAN. – zayavl. 31.07.1997; opubl. 10.11.1999. – 7 s. (In Russian).
6. Sovershenstvovanie tekhnologii zernovykh produktov s ispol'zovaniem zarodysha zerna pshenitsy / K.ZH. Amirkhanov i dr. // Monografiya. Izd. «EhpigraF» v g. Almaty, 2019. (In Russian).
7. Pat. SU1688827A1 SSSR, MPK A23L1/10. Sposob proizvodstva blyuda dlitel'nogo khraneniya «TalkaN» / Kadyrov F.M. i dr.; zayav. i patentoobladatel' Sredneaziatskii nauchno-issled.i proektno-konstrukt. inst-t pishch.promyshlennosti. – № 4727484/13; zayavl. 07.08.1989; opubl. 07.11.1991, Byul. № 41. (In Russian).
8. Innov. pat. 31120 Respublika Kazakhstan, MPK A23L 1/064, A23L 1/10. Sposob polucheniya sukhoi pitatel'noi smesi na zernovoi osnove / Nurgazezova A.N. i dr.; zayav. Patentoobladatel' Nurgazezova A.N. i dr. – zayavl. 20.12.2014; opubl. 16.05.2016, Byul. № 5. (In Russian).
9. Asenova B.K. Astық түйірді сақтау және өндеу текhnologiyasy: оқу құралы / B.K. Asenova, S.K. Kasymov. – Almaty: Ehpigraf, 2019. – 152 b. (In Russian).
10. Asenova B.K. Obrabotka i khranenie produktsii rastenievodstva: uch. Posobie / B.K. Asenova, F.KH. Smol'nikova. – Almaty: Ehpigraf, 2019. – 251 s. (In Russian).

**Б.К. Асенова\***, **Л.М. Турсунғалиева<sup>1</sup>**, **Г.Т. Туменова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А  
<sup>2</sup>Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,  
150000, Қазақстан Республикасы, Петропавл қ., Пушкин көш. 86  
\*e-mail: asenova.1958@mail.ru

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОСА (ТАЛКАНА) В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Одним из основных направлений решения проблемы рационального питания нашей нации является расширение ассортимента основных продуктов питания, в том числе национальных, и повышение их биологической жизнеспособности.*

*Анализ литературных источников показывает, что до сих пор существует множество методов повышения потребительских свойств талкана. Отобранные культуры занимают лидирующие позиции в этом списке и являются важными факторами повышения потребительского качества, ценности талкана. Правильно подобранные продукты влияют на повышение пищевой ценности талкана, повышение потребительского качества. Поэтому в данной статье представлена рецептура талкана, обогащенная биологическими добавками и исследования физико-химических показателей.*

*Зерновые концентраты (просо, талькан, жент), которые давно известны в нашей стране и имеют большой опыт в их приготовлении, являются предпочтительной формой обогащения их витаминами и минералами, так как являются одним из основных продуктов питания. Продукция национальной кухни в ежедневном потреблении. Добавление в эти продукты полезных добавок позволяет эффективно регулировать биологическую и пищевую ценность пищи человека. В этой связи перспективным направлением является разработка специальных технологий пищевых продуктов с лечебными и профилактическими свойствами с добавлением в формулу функциональных обогащающих добавок.*

**Ключевые слова:** талкан, крупа, физико-химические показатели, биологическая ценность, пищевая ценность, добавка.

**B.K. Asenova\***, **L.M. Tursungaliyeva**<sup>1</sup>, **G.T. Tumanova**<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,

071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str. 20 A

<sup>2</sup>Manash Kozybayev North Kazakhstan university»,

150000, Kazakhstan, Petropavlovsk, st. Pushkin 86

\*e-mail: asenova.1958@mail.ru

## PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF MILLET (TALKAN) IN THE FOOD INDUSTRY

*One of the main directions of solving the problem of rational nutrition of our nation is to expand the range of basic food products, including national ones, and increase their biological viability. An analysis of literary sources shows that there are still many methods to improve the consumer properties of talkan. The selected crops occupy a leading position in this list and are important factors in improving the consumer quality and value of talkan. Properly selected products affect the increase in the nutritional value of talkan and the increase in consumer quality. Therefore, this article presents the formulation of talkan enriched with cultures, data from the study of chemical values of physics.*

*Grain concentrates (millet, talcum powder, zhent), which have long been known to our country and have extensive experience in their preparation, are the preferred form of fortification with vitamins and minerals, as they are one of the main food products. The products of the Kazakh tablecloth are in daily consumption. The addition of useful additives to these products makes it possible to effectively regulate the biological and nutritional value of human food. In this regard, a promising direction is the development of special food technologies with therapeutic and preventive properties with the addition of functional enriching additives to the Formula.*

**Key words:** *talkan, cereals, physico-chemical parameters, biological value, Nutritional value, additive.*

### Авторлар туралы мәліметтер

**Бахыткуль Кажкеновна Асенова\*** – техника ғылымдарының кандидаты, «Тамақ өндірістерінің технологиясы және биотехнология» кафедрасының профессоры; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8707-9725>.

**Лаура Муратқызы Турсунғалиева** – Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің 2 курс магистранты, «Семей қаласының технология колледжі» мекемесі Қазақстан; e-mail: lauraturungaliyeva@gmail.com.

**Галия Толеухановна Туменова** – техника ғылымдарының кандидаты, доцент; Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан, Петропавл қ., e-mail: g.tumenova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0955-3520>.

### Сведения об авторах

**Бахыткуль Кажкеновна Асенова\*** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология производства продуктов и биотехнологии»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8707-9725>.

**Лаура Муратовна Турсунғалиева** – магистрант 2 курса университета имени Шакарима города Семей, учреждение «Технологический колледж города Семей», Казахстан; e-mail: lauraturungaliyeva@gmail.com.

**Галия Толеухановна Туменова** – кандидат технических наук, доцент, Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева, Республика Казахстан, Петропавловск; e-mail: g.tumenova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0955-3520>.

### Information about authors

**Bakhytkul Asenova\*** – Candidate of Technical Sciences, professor, professor of the department of «Product Production Technology and Biotechnology»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: asenova.1958@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8707-9725>.

**Laura Muratovna Tursungaliyeva** – 2nd year undergraduate student at Semey Shakarim University, Semey Technological College, Kazakhstan; e-mail: lauraturungaliyeva@gmail.com.

**Galia Tumenova** –Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, North Kazakhstan University named after Manash Kozybayev, Republic of Kazakhstan; e-mail: g.tumenova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0955-3520>.

*Редакцияға енуі 20.09.2024*

*Өңдеуден кейін түсуі 22.09.2024*

*Жариялауға қабылданды 23.09.2024*

**А.М. Байкадамова<sup>1\*</sup>, Е.С. Жарыкбасов<sup>1</sup>, К.С. Жарыкбасова<sup>2</sup>, Б. Идырышев<sup>1</sup>,  
Ж.Б. Асиржанова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Alikhan Bokeikhan University  
071400, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Мәңгілік Ел, 11

\*e-mail: asemgul93@yandex.ru

## **ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ НАССР НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА**

**Аннотация:** Данная статья посвящена анализу системы НАССР в мясной промышленности. Особое внимание уделяется важности обеспечения безопасности мясной продукции на всех этапах производственного процесса. В качестве примера рассматривается производство мясного паштета «Фирменный» с добавлением мясокостной пасты. Приводятся семь принципов системы НАССР, начиная с анализа рисков и заканчивая процедурами документирования. Описывается детальный анализ опасностей на каждом этапе технологического процесса производства мясного паштета. Для каждого процесса идентифицируются критические контрольные точки (ККТ), которые требуют особого контроля для предотвращения или минимизации риска загрязнения продукции патогенными микроорганизмами. Исследование проведено на предприятии по производству мясной продукции в Семее. Была разработана экспериментальная партия мясного паштета, в которой были определены пять критических контрольных точек: приемка сырья, бланширование, приготовление, охлаждение и упаковка/хранение. Успешное внедрение системы НАССР на мясоперерабатывающем предприятии привело к значительному снижению содержания загрязняющих веществ, обеспечению соблюдения стандартов безопасности и повышению доверия потребителей. Эти результаты подтверждают необходимость более широкого внедрения принципов НАССР для создания более безопасной и устойчивой цепочки поставок продуктов питания.

**Ключевые слова:** НАССР, безопасность пищевых продуктов, критические контрольные точки, мясная промышленность, мясоперерабатывающее предприятие.

### **Введение**

В последние десятилетия повышенные требования к безопасности продуктов питания стали ключевым фактором в развитии пищевой промышленности. Мясная продукция является одной из самых чувствительных категорий продуктов с точки зрения риска для здоровья человека. Неправильное обращение с мясом или неадекватная обработка могут привести к развитию патогенных микроорганизмов, таких как *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, что может вызывать массовые вспышки инфекционных заболеваний [1]. Для предотвращения этих рисков был разработан целый ряд систем управления безопасностью пищевых продуктов, среди которых НАССР занимает центральное место.

Система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points) – это признанный во всем мире стандарт для контроля качества и безопасности пищевых продуктов. Она была изначально разработана в 1960-х годах совместно НАСА и Pillsbury для обеспечения безопасности продуктов для космонавтов [2]. Впоследствии НАССР была адаптирована для широкого применения в пищевой промышленности и стала основой для современных стандартов безопасности продуктов питания, таких как ISO 22000 и другие.

Основной задачей НАССР является предотвращение загрязнений на основе систематической оценки и мониторинга всех процессов, связанных с производством продуктов питания. Методология системы НАССР позволяет выявлять потенциальные риски, такие как микробиологические, химические и физические опасности, на ранних этапах производства [3]. Это осуществляется через идентификацию критических контрольных точек

(ККТ) и установление критических пределов, которые должны соблюдаться для предотвращения или минимизации рисков.

Применение системы HACCP особенно важно для мясной промышленности, так как мясные продукты подвержены высокому риску контаминации на различных этапах обработки, хранения и транспортировки [4]. Контроль температурных режимов, гигиена на всех стадиях производства, а также правильная термическая обработка являются важными факторами для предотвращения роста патогенных микроорганизмов и обеспечения безопасности мясной продукции.

Эффективность внедрения системы HACCP доказана на практике множеством предприятий пищевой промышленности. Исследования показывают, что компании, внедрившие HACCP, демонстрируют значительное снижение случаев загрязнения продукции и улучшение общего контроля качества [5]. Например, согласно данным Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов (EFSA), после обязательного внедрения HACCP в мясной промышленности ЕС количество случаев пищевых отравлений, вызванных патогенами, такими как *Salmonella* и *Campylobacter*, снизилось на 30% в течение первых пяти лет [6].

Одним из вызовов для предприятий мясной промышленности является необходимость регулярного пересмотра и обновления системы HACCP в соответствии с новыми требованиями и изменениями в технологиях производства [7]. Постоянное обучение персонала и инвестирование в современные методы контроля качества, такие как автоматизированные системы мониторинга, также играют важную роль в успешной реализации HACCP.

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение HACCP требует значительных начальных инвестиций, особенно для малых и средних предприятий, что может ограничить их способность оперативно внедрять эту систему [8]. Тем не менее, долгосрочные выгоды, такие как улучшение репутации, соответствие международным стандартам и возможность выхода на экспортные рынки, делают HACCP важным инструментом для предприятий любой величины.

Цель данной работы – рассмотреть основные этапы внедрения системы HACCP на предприятиях мясной промышленности, а также оценить их влияние на качество и безопасность продукции.

### **Методы исследования**

Исследование проводилось на предприятии по производству мясных изделий (ИП «Алтеев») в городе Семей, Восточный Казахстан (2023-2024 гг.). Компания производит мясные продукты, такие как колбасы, котлеты и пельмени.

Существует семь принципов, которые легли в основу системы HACCP и обязательны при создании системы для конкретного пищевого производства:

Принцип 1: Проведение анализа опасностей.

Принцип 2: Определение критических контрольных точек (ККТ).

Принцип 3: Установление критических пределов.

Принцип 4: Установление процедур мониторинга.

Принцип 5: Установление корректирующих действий.

Принцип 6: Установление процедур проверки.

Принцип 7: Установление процедур ведения записей и документации [15-17].

Анализ рисков и опасностей: ГОСТ Р 51705.1 [12] предусматривает использование схемы анализа рисков. Эксперты оценивают тяжесть последствий реализации опасного фактора, исходя из четырех возможных вариантов оценки: легкая, умеренная, тяжелая, критическая. Вероятность реализации опасного фактора также оценивается на основе четырех возможных вариантов: практически нулевая, незначительная, значительная и высокая. Затем строится предельная линия допустимого риска на качественной диаграмме с координатами вероятности реализации опасного фактора и тяжести последствий.

Определение возможных дефектов продукции по производственным факторам (критические контрольные точки): ГОСТ Р 51705.1 предусматривает использование метода «Дерево решений» для определения критических контрольных точек.



ГОСТ Р 51705.1 предусматривает составление списка предупреждающих действий в форме таблицы, где также указываются признаки риска, контролируемые во время данной операции, или параметры для выявления опасного фактора.

### Результаты и обсуждение

Разработанный продукт относится к группе мясных продуктов, производимого из мясного сырья, подвергнутого бланшировке, измельчению, куттерованию, варке в оболочках, охлаждению и упаковке. Мясной паштет предназначен для непосредственного употребления, оболочки прямые, батоны длиной не более 25 см, d=35 мм и массой от 100 до 110 г.

В таблице 1 представлено подробное описание продукта.

Таблица 1 – Характеристика продукта

Перечень вопросов по исходной информации	Компоненты / показатели	Норма
1. Наименование продукта	Паштет мясной с добавлением мясокостной пасты	
2. Состав продукта	Говядина жилованная первого сорта бланшированная. мясокостная паста из реберных костей, свинина жилованная жирная бланшированная, печень жилованная говяжья бланшированная, специи	
3. Основные характеристики продукты	Физико-химические	
	Массовая доля белка, г, не более	16,80
	Массовая доля жира, г, не более	29,20
	Массовая доля углеводов, г, не более	5,50
	Массовая доля содержания золы, % не более	2,50
4. Показатели безопасности/ ТР ТС 034/2013	4.1 Микроорганизмы	
	КМАФАнМ	Не более 1*10 <sup>3</sup> КОЕ/г
	БГКП (колиформы)	Не допускается 1,0 г
	Патогенные м/о в т.ч. сальмонеллы	Не допускается в 25,0 г
	S.aureus	Не допускается 1,0 г
	Сульфитредуцирующие клостридии	Не допускается 1,0 г
	L.monocytogenes	Не допускается в 25,0 г
	4.2 Антибиотики	
	Левомецетин	Не допускается
	Тетрациклиновая группа	Не допускается
	4.3 Токсичные элементы	
	Свинец	Не более 0,5 мг/кг
	Мышьяк	Не более 0,1 мг/кг
	Кадмий	Не более 0,05 мг/кг
	Ртуть	Не более 0,03 мг/кг
	4.4 Пестициды	
	Гексахлорциклогексан (α, β, γ-изомеры)	Не более 0,1 мг/кг
	ДДТ и его метаболиты	Не более 0,1 мг/кг
	4.5 Радионуклиды	
Цезий-137	Не более 200 бг/кг	

В технологическом процессе производства мясного паштета «Фирменный» с добавлением мясокостной пасты из реберных костей КРС встречаются ряд слабых сторон зависящих и независящих от оборудования.

По первому принципу HACCP, был проведен анализ факторов риска по всей производственной цепочки мясного паштета «Фирменный». Посредством анализа идентифицируются критические контрольные точки, которые могут быть возникнуть в ходе технологического процесса [13, 14]. Анализ факторов риска проводили согласно СТ РК 1179-2003 [15]. При производстве определены физические, химические, а также биологические опасности.

Принцип 1. Анализ рисков и превентивных мер

Анализ опасностей используется для выявления всех вредных факторов (биологических, химических и физических), которые могут возникать на всех этапах производственного процесса, начиная с сырья и вспомогательных материалов и заканчивая цепочкой распределения.

Следующим необходимым шагом является оценка риска конкретного фактора. Последний этап – это определение превентивных мер, которые могут быть использованы для устранения или сведения к минимуму возникновения опасности – для выявления и оценки рисков для здоровья от пищевых продуктов и риска их возникновения, а также для установления контрольных мер и методов противодействия этим угрозам, то есть для проведения анализа рисков.

Принцип 2. Идентификация критических контрольных точек:

В результате анализа опасности и определения превентивных мер определяются места, элементы или этапы, необходимые для производственного процесса, в которых средства правовой защиты не помогают, то есть критические контрольные точки. Эти пункты должны контролироваться из-за возможности чрезмерного риска, приводящего к неприемлемому качеству продуктов питания.

Условием назначения ККТ является способность контролировать его и способность эффективно контролировать угрозу. Следует добавить, что качество функционирования системы не подтверждается количеством обозначенных критических контрольных точек.

В установках с правильно функционирующими системами GHP и GMP он ограничен необходимым минимумом. Может случиться так, что будет только одна критическая контрольная точка и даже нет необходимости настраивать КПК вообще.

Принцип 3. Определение критических параметров и пределов:

Важно, чтобы ККТ была установлена в точке производственного процесса, чтобы описать параметры процесса, которые проверяются при определенных условиях.

Пределы допуска определяются как приемлемое отклонение от предложенных параметров, так что тем не менее сохраняется соответствующая безопасность для здоровья.

Принцип 4. Создание и внедрение системы мониторинга ККТ:

Система мониторинга ККТ – это процедура, которая определяет как часто, кем и каким способом будут измеряться параметры, установленные для критических точек.

Определение того, как будут храниться записи, и кто будет контролировать, как они хранятся и как часто контролируются.

Принцип 5. Корректирующие действия:

Этот принцип говорит о необходимости предвидеть действия, которые необходимо выполнить, если параметры, установленные в ККТ, превышены или не выполнены.

Корректирующие действия должны определять, что делать с продуктом, производственной линией и как довести затронутые параметры до нужного уровня.

Принцип 6. Процедуры проверки:

Учреждение должно установить процедуры внутреннего контроля, чтобы проверить, правильно ли внедренная система HACCP работает, надлежащим ли образом определены ККТ и параметры для их мониторинга.

Проверка системы также необходима при внесении каких-либо изменений в производственный процесс и процедуры (например, изменение сырья, машин, персонала).

Принцип 7. Документация системы HACCP:

Необходимо создавать, поддерживать, хранить и архивировать системную документацию.

Каждый этап внедрения системы должен быть правильно описан и сохранен в документации.

Также важно хранить регистрационные записи и действия, предпринятые в случае несоблюдения параметров ККТ.

Опасные факторы, которые необходимо учитывать при производстве мясного паштета, а также допустимые значения, изложенные в ТР ТС 034/2013 [16], приведены в таблице 2.

Для выявления критических контрольных точек построена блок-схема технологического процесса мясного паштета (рис. 1).

Таблица 2 – Потенциальные опасности при производстве мясного паштета

Технологический процесс, потенциальная опасность	Контролируемый параметр	Допустимые значения
Приемка сырья: - химическая - физическая - микробиологическая	- посторонние включения  - количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ*/г, не более  - бактерии группы кишечной палочки (колиформы) в 1 г  - сульфитредуцирующие клостридии в 0,1 г  - <i>S. aureus</i> в 1 г	- не допускается  - не более $1,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г  - не допускается  - не допускается  - не допускается
Бланшировка: - микробиологическая	- выживание патогенных и условно-патогенных микроорганизмов	Не допускается
Измельчение, куттерование: - микробиологическая	- выживание патогенных и условно-патогенных микроорганизмов	Не допускается
Наполнение оболочек: - микробиологическая - физическая	- выживание патогенных и условно-патогенных микроорганизмов - посторонние включения	Не допускается
Варка и охлаждение: - микробиологическая	- выживание патогенных и условно-патогенных микроорганизмов	Не допускается
Упаковка, маркировка: - микробиологическая	- попадание и развитие посторонней микрофлоры	Не допускается
Хранение: - микробиологическая - физическая	- попадание и развитие посторонней микрофлоры - посторонние включения	БГКП, <i>S. aureus</i> в 1 г продукта – не допускается. Патогенные, в том числе сальмонеллы и <i>L.monocytogenes</i> в 25 г продукта – не допускаются Сульфитредуцирующие клостридии в 0,1 г – не допускается

Для того, чтобы определить ККТ применяется следующий алгоритм:

Вопрос № 1 (В1). На основании вероятности возникновения и тяжести неблагоприятного воздействия на здоровье, является ли эта опасность значительной?

ДА: Это серьезная опасность. Перейдите к Вопросу № 2.

НЕТ: Это не представляет существенной опасности.

Вопрос № 2 (В2). Будут ли последующие этапы самостоятельно или в сочетании (включая ожидаемое использование потребителем) гарантировать удаление этой значительной опасности или ее снижение до приемлемого уровня?

ДА: Определите и назовите последующий этап.

НЕТ: Перейдите к Вопросу № 3.

Вопрос № 3 (В3). Являются ли меры контроля или практики на этом этапе и исключают ли они, уменьшают или поддерживают эту значительную опасность по мере необходимости?

ДА: Перейдите к Вопросу № 4.

НЕТ: Измените процесс или продукт и перейдите к Вопросу № 1.

Вопрос № 4 (В4). Необходимо ли на этом этапе установить критические пределы для меры контроля?

ДА: Перейдите к Вопросу № 5.

НЕТ: Эта опасность управляется операционной программой предварительных условий.

Вопрос № 5 (В5). Необходимо ли проводить мониторинг меры контроля таким образом, чтобы после потери контроля немедленно предпринять действия?

ДА: Эта опасность управляется мерами контроля в ККТ.

НЕТ: Эта опасность управляется операционной программой предварительных условий

[17].

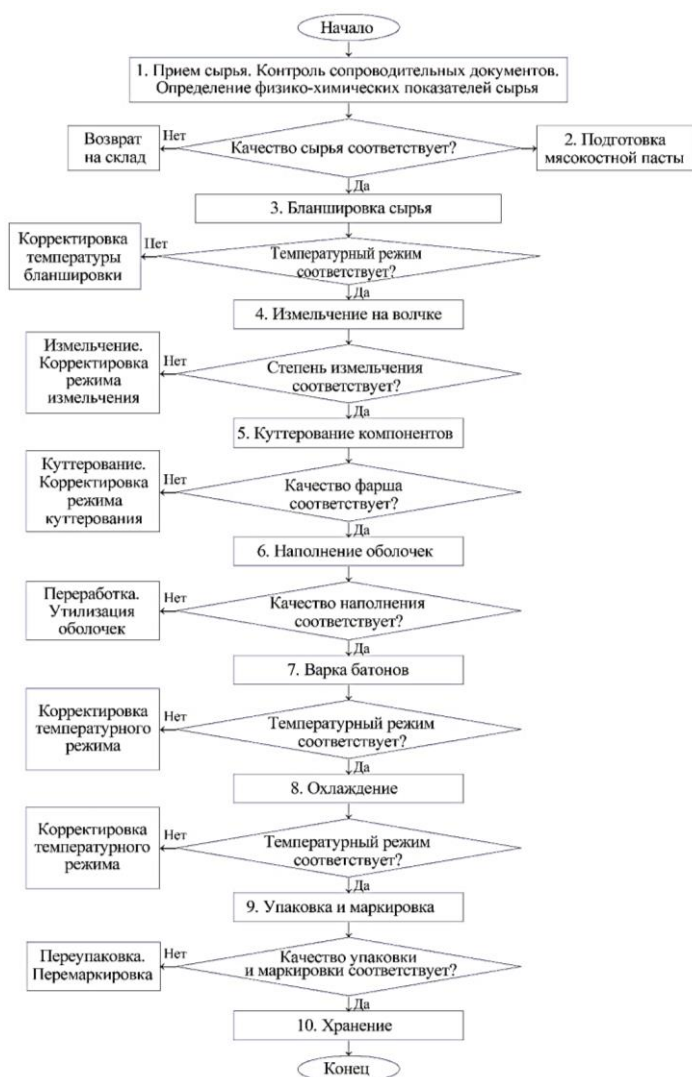


Рисунок 1 – Блок-схема технологического процесса

Пример определения ККТ при производстве приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Определение ККТ при производстве мясного паштета «Фирменный»

Этап процесса	Опасные факторы	Вопросы					Будет ли являться этап ККТ
		В1	В2	В3	В4	В5	
1	2	3	4	5	6	7	8
Приемка сырья	Микробиологические факторы: - обсеменение сырья патогенными микроорганизмами	Да	Нет	Да	Да	Да	Да ККТ 1
	Физико-химические: - попадание дезинфицирующих средств и посторонних материалов	Да	Нет	Да	Да	Да	
Бланшировка	Микробиологические: - выживание и попадание патогенных микроорганизмов	Да	Нет	Да	Да	Да	Да ККТ 2
	Физические: - нарушение технологических параметров бланшировки	Да	Нет	Да	Да	Да	

1	2	3	4	5	6	7	8
Измельчение, куттерование	Микробиологические: - попадание патогенных микроорганизмов	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет
	Физические: - нарушение технологических параметров измельчения, куттерования	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет
Наполнение оболочек	Микробиологические: - попадание патогенных микроорганизмов	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет
	Физические: - посторонние включения	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Нет
Варка и охлаждение	Микробиологические: - выживание патогенных и условно-патогенных микроорганизмов	Да	Нет	Да	Да	Да	Да ККТ 3
Упаковка	Микробиологические: - попадание патогенных микроорганизмов	Да	Нет	Да	Да	Да	Да ККТ 4
Хранение	Физико-химические: - нарушение температуры хранения, влажность, pH, кислотность.	Да	Нет	Да	Да	Да	Да ККТ 5
	Микробиологические: - обсеменение БГКП, патогенными микроорганизмами	Да	Нет	Да	Да	Да	

По данным таблицы 3 можно сделать вывод, что контрольной критической точкой при производстве мясного паштета с мясокостной пастой «Фирменный» будет являться этап бланшировки, варки, охлаждения, упаковки и хранения.

Результаты корректирующих действий с учетом выявленных ККТ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – ККТ при производстве мясного паштета с добавлением мясокостной пасты из реберных костей КРС

№ ККТ	Опасный факторы	Критический предел	Процедура мониторинга	Корректирующие действия или меры предупреждения	Процедура верификации	Записи НАССР
1	2	3	4	5	6	7
ККТ 1. Приемка сырья	Микробиологические: БГКП, КМАФАНМ, выживание патогенных и условно-патогенных микроорганизмов	Посторонние включения не допускается; КМАФАНМ, КОЕ*/г, не более $1,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г; БГКП (колиформы) в 1 г не допускается; сульфитредуцирующие клостридии в 0,1 г не допускается; - S. aureus в 1 г не допускается	Постоянный микробиологический, физико-химический контроль качества мясного сырья по ГОСТ 23042-86, ГОСТ 25011, ГОСТ 4288-76, ГОСТ 10444.15-94 ГОСТ 31747-2012 ГОСТ Р 32031-12 ГОСТ 31659-2012	Соблюдение лабораторных параметров качества мясного сырья	Периодическая поверка и подтверждение точности средств измерения. Проверка записей ЖТК. Контроль компетентности персонала	Записи в ЖТК о контроле качества мясного сырья. Записи о подтверждении компетентности ответственного персонала
ККТ 2. Бланшировка	Физико-химические: температура, время выдержки. Микробиологические: БГКП, КМАФАНМ	КМАФАНМ, КОЕ*/г, не более $1,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г; БГКП (колиформы) в 1 г не допускается; сульфитредуцирующие клостридии в 0,1 г не допускается; - S. aureus в 1 г не допускается. Температура бланшировки $105^{\circ}\text{C}$ в течении 15-20 мин	Постоянный контроль температуры бланшировки	Наладка оборудования. Повторная обработка сырья	Контроль технологических режимов бланшировки. Проверка записей в ЖТК	Записи в ЖТК процесса бланшировки и. Записи о проверке средств измерения. Записи о подтверждении компетентности ответственного персонала

1	2	3	4	5	6	7
ККТ 3. Варка и охлаждение	Микробиологические: БГКП, КМАФАнМ, E.coli, Salmonella, L.monocytogenes, S.aureus	КМАФАнМ, КОЕ*/г, не более $1,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г; БГКП (коли-формы) в 1 г не допускается; сульфитредуцирующие клостридии в 0,1 г не допускается; - S. aureus в 1 г не допускается Температура варки 80-85 °С в течении 40-80 минут Температура охлаждения до $t=2-6$ °С в центре батона	Контроль температурного режима варки и охлаждения. Технологический контроль процесса	Соблюдение температурных режимов. Повторное доваривание батонов	Периодическая проверка и подтверждение точности средств измерения. Про-верка записей в ЖТК, подтверждение правильности проведения технологического процесса	Записи в ЖТК о контроле температурных параметров варки и охлаждения. Записи о подтверждении компетентности ответственного персонала
ККТ 4. Упаковка	Микробиологические: БГКП, КМАФАнМ	КМАФАнМ, КОЕ*/г, не более $1,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г; БГКП (колиформы) в 1 г не допускается; сульфитредуцирующие клостридии в 0,1 г не допускается; - S. aureus в 1 г не допускается	Контроль упаковочного процесса	Соблюдение требований упаковки	Периодическая проверка оборудования.  Проверка записей в ЖТК, подтверждение правильности проведения технологического процесса	Записи о подтверждении компетентности ответственного персонала
ККТ 5. Хранение	Физико-химические: температура хранения, влажность. Микробиологические: БГКП, КМАФАнМ, E.coli, Salmonella, L.monocytogenes, S.aureus	Температура до +5 °С; влажность воздуха – 70%; КМАФАнМ, КОЕ*/г, не более $1,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г; БГКП (колиформы) в 1 г не допускается; сульфитредуцирующие клостридии в 0,1 г не допускается; – S. aureus в 1 г не допускается			Периодическая проверка и подтверждение средств измерения. Проверка записей в журналах подтверждение правильности переработки несоответствующей продукции. Тестирование компетентности персонала	Записи в ЖТК технологических параметров хранения. Записи о подтверждении компетентности ответственного персонала. Записи о результатах внутреннего и внешнего аудита.-

Схема технологического процесса и итоговая таблица НАССР являются основными компонентами плана НАССР. План НАССР – основной документ, регламентирующий систему контроля факторов, устраняющих или снижающих вероятность проявления выявленных опасностей, систему корректирующих и предупреждающих действий и систему проверок эффективности функционирования системы НАССР. План состоит из диаграммы технологического процесса и итоговой карты контроля НАССР. В процессе создания плана также разрабатывается дополнительная документация, включающая создание рабочей группы НАССР, описание продукции, выявление и изучение опасностей, определение критической контрольной точки, установление корректирующих и предупреждающих действий, мероприятий по мониторингу и осуществление внутренних проверок. Итоговая таблица плана НАССР производства мясного паштета с мясокостной пастой «Фирменный» представлены в таблице 5.

Таким образом, разработана блок-схема технологического процесса производства мясного паштета «Фирменный» с мясокостной пастой и определены критические контрольные точки технологического процесса.

Внедрение системы НАССР в производственный процесс позволяет определить этапы технологического процесса, на которых могут возникнуть риски, и впоследствии предотвратить их. Разработка блок-схемы производственного процесса позволяет последовательно определять критические контрольные точки. Важным шагом в определении средств контроля является разработка превентивных мер, которые предотвращают риск или снижают его до приемлемого уровня.

Таблица 5 – Итоговая таблица плана HACCP

ККТ/ технологический процесс/опасный фактор	Контролируемый параметр	Предельное значение	Процедура мониторинга	Корректирующие действия
1. Приемка сырья: - химическая - физическая - микробиоло- гическая	БГКП	1*10 <sup>3</sup> в 1 г Не допускается в 1 г	Посев глубинный среда Кода или Кесслера	Надлежащий микробиологичес- кий контроль
2. Бланшировка: - микробиологи- ческая	Контроль температурно- временного режима бланшировки	В зависимости от режима	Постоянно температура	Наладка линии. Повторная обработка
3. Варка и охлаждение: - микробиоло- гическая	Контроль температурного режима	1*10 <sup>3</sup> в 1 г Не допускается в 1 г	Постоянно температу- ра	Соблюдение температурно го режима варки и охлаждения
4. Упаковка: - микробиоло- гическая	БГКП	1*10 <sup>3</sup> в 1 г Не допускается в 1 г	Посев глубинный среда Кода или Кесслера	Соблюдение правил гигиены персоналом, контроль работы персонала, оборудование, дезинфекция воздуха
5. Хранение: - микробиоло- гическая	БГКП	1*10 <sup>3</sup> в 1 г Не допускается в 1 г	Посев глубинный среда Кода или Кесслера	Надлежащий микробиологичес- кий контроль

### Заклучение

Внедрение системы HACCP на предприятиях мясной промышленности является необходимым шагом для обеспечения безопасности продукции и защиты здоровья потребителей. Она помогает предотвратить риски на всех этапах производства, улучшить качество продукции и повысить доверие со стороны партнеров и потребителей. Успешное внедрение системы HACCP требует тщательного анализа всех производственных процессов, регулярного мониторинга и документирования всех действий. Была разработана экспериментальная партия мясного паштета, в которой были определены пять критических контрольных точек: приемка сырья, бланширование, приготовление, охлаждение и упаковка/хранение.

### Список литературы

1. HACCP development and regulatory assessment in the United States of America / J. Kvenberg et al // Food Control. – 2000. – № 11(5). [https://doi.org/10.1016/s0956-7135\(99\)00090-0](https://doi.org/10.1016/s0956-7135(99)00090-0).
2. Wallace C.A. «HACCP» in Handbook of Hygiene Control in the Food Industry, ed. H. Lelieveld, / C.A. Wallace, S.E. Mortimore // J. Holah, D. Gabrić (Woodhead Publishing). – 2016. – P. 25-42. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100155-4.00003-0>.
3. Urban Food Supply Chain Resilience for Crises Threatening Food Security: A Qualitative Study / A.A. Hecht et al // Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. – 2019. – № 119(2). <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.09.001>.
4. Okpala C.O.R. Understanding the Relevance of Quality Management in Agro-food Product Industry: From Ethical Considerations to Assuring Food Hygiene Quality Safety Standards and Its Associated Processes. / C.O.R. Okpala, M. Korzeniowska // Food Reviews International. – 2021. – № 39(4). <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1938600>.
5. Raihanah U. A Systematic Review on Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) / U. Raihanah M. Norazmir // Southeast Asia Countries. – 2020. – № 14(4). [https://pjmhsonline.com/2020/oct\\_dec/1873.pdf](https://pjmhsonline.com/2020/oct_dec/1873.pdf).
6. Johnson J. 2021 Crisis Preparedness Training: Annual Report [JB] / J. Johnson, A. Vincent // EFSA Supporting Publications. – 2021. – № 18(12). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2021.EN-7054>.
7. Kafetzopoulos D.P. Measuring the effectiveness of the HACCP Food Safety Management System. / D.P. Kafetzopoulos, E.L. Psomas, P.D. Kafetzopoulos // Food Control. 2013. – № 33(2). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.03.044>.

8. SDG 12.3.1: Global Food Loss Index / C. Fabi et al // Imputing Food Loss Percentages in the absence of data at the global level. – 2018. [https://www.researchgate.net/publication/348305970\\_SDG\\_123\\_1\\_Global\\_Food\\_Loss\\_Index](https://www.researchgate.net/publication/348305970_SDG_123_1_Global_Food_Loss_Index).
9. Zakharova L.M. Food Product Quality and Safety Control Based on HACCP Principles / L.M. Zakharova, M.S. Gorbunchikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 845(1): 012125. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012125>.
10. Umi R. A Systematic Review on Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) in Southeast Asia Countries / R. Umi, M. Norazmir // A Pakistan Journal of Medical & Health Sciences. – 2020. – № 14 (4). [https://pjmhsonline.com/2020/oct\\_dec/1873.pdf](https://pjmhsonline.com/2020/oct_dec/1873.pdf).
11. Ensuring the quality and safety of food products through the introduction of the HACCP system / A.K. Kakimov et al // Bulletin of the State University named after Shakarim Semey. – 2019. – № 4(88). – P. 36-40.
12. GOST R 51705.1-2001. Quality systems. HACCP principles for food products quality management. General requirements. n.d. Internet-Law.ru. Accessed January 30, 2024. <https://internet-law.ru/gosts/gost/27438/>.
13. Norton Ch. HACCP – developing and verifying a flow diagram for food production // Food Management. – 2003. – № 5. – P. 8081.
14. Вайскрובה Е.С. Система менеджмента безопасности пищевых продуктов: учебное пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – 100 с.
15. СТ РК 1179-2003. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов HACCP. Общие требования. – Введ. 2003-10-31. – Астана, 2003. – 18 с.
16. Решение Совета Евразийской экономической комиссии. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» (ТР ТС 034/2013): утв. 9 октября 2013 года, № 68 // Электронный фонд правовых и нормативных документов. – 2021, апрель – 14.
17. План HACCP. Управление рисками <https://www.techconsult.com.ua/ru/sistemy-menedzhmenta-iso/plan-haccp-upravlenie-riskami/> 10.10.2020.

### References

1. HACCP development and regulatory assessment in the United States of America / J. Kvenberg et al // Food Control. – 2000. – № 11(5). [https://doi.org/10.1016/s0956-7135\(99\)00090-0](https://doi.org/10.1016/s0956-7135(99)00090-0). (In English).
2. Wallace C.A. «HACCP» in Handbook of Hygiene Control in the Food Industry, ed. H. Lelieveld, / C.A. Wallace, S.E. Mortimore // J. Holah, D. Gabrić (Woodhead Publishing). – 2016. – R. 25-42. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100155-4.00003-0>. (In English).
3. Urban Food Supply Chain Resilience for Crises Threatening Food Security: A Qualitative Study / A.A. Hecht et al // Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. – 2019. – № 119(2). <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.09.001>. (In English).
4. Okpala C.O.R. Understanding the Relevance of Quality Management in Agro-food Product Industry: From Ethical Considerations to Assuring Food Hygiene Quality Safety Standards and Its Associated Processes. / C.O.R. Okpala, M. Korzeniowska // Food Reviews International. – 2021. – № 39(4). <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1938600>. (In English).
5. Raihanah U. A Systematic Review on Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) / U. Raihanah M. Norazmir // Southeast Asia Countries. – 2020. – № 14(4). [https://pjmhsonline.com/2020/oct\\_dec/1873.pdf](https://pjmhsonline.com/2020/oct_dec/1873.pdf). (In English).
6. Johnson J. 2021 Crisis Preparedness Training: Annual Report [JB] / J. Johnson, A. Vincent // EFSA Supporting Publications. – 2021. – № 18(12). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2021.EN-7054>. (In English).
7. Kafetzopoulos D.P. Measuring the effectiveness of the HACCP Food Safety Management System. / D.P. Kafetzopoulos, E.L. Psomas, P.D. Kafetzopoulos // Food Control. 2013. – № 33(2). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.03.044>. (In English).
8. SDG 12.3.1: Global Food Loss Index / S. Fabi et al // Imputing Food Loss Percentages in the absence of data at the global level. – 2018. [https://www.researchgate.net/publication/348305970\\_SDG\\_123\\_1\\_Global\\_Food\\_Loss\\_Index](https://www.researchgate.net/publication/348305970_SDG_123_1_Global_Food_Loss_Index). (In English).



9. Zakharova L.M. Food Product Quality and Safety Control Based on HACCP Principles / L.M. Zakharova, M.S. Gorbunchikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 845(1): 012125. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012125>. (In English).
10. Umi R. A Systematic Review on Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) in Southeast Asia Countries / R. Umi, M. Norazmir // A Pakistan Journal of Medical & Health Sciences. – 2020. – № 14 (4). [https://pjmhsonline.com/2020/oct\\_dec/1873.pdf](https://pjmhsonline.com/2020/oct_dec/1873.pdf). (In English).
11. Ensuring the quality and safety of food products through the introduction of the HACCP system / A.K. Kakimov et al // Bulletin of the State University named after Shakarim Semey. – 2019. – № 4(88). – P. 36-40. (In English).
12. GOST R 51705.1-2001. Quality systems. HACCP principles for food products quality management. General requirements. n.d. Internet-Law.ru. Accessed January 30, 2024. <https://internet-law.ru/gosts/gost/27438/>. (In English).
13. Norton Ch. HACCP – developing and verifying a flow diagram for food production // Food Management. – 2003. – № 5. – P. 8081. (In English).
14. Vaiskrobova E.S. Sistema menedzhmenta bezopasnosti pishchevykh produktov: uchebnoe posobie. – Magnitogorsk: Izd-vo Magnitogorsk. gos. tekhn. un-ta im. G.I. Nosova, 2011. – 100 s. (In Russian).
15. ST RK 1179-2003. Sistemy kachestva. Upravlenie kachestvom pishchevykh produktov na osnove printsipov NASSR. Obshchie trebovaniya. – Vved. 2003-10-31. – Astana, 2003. – 18 s. (In Russian).
16. Reshenie Soveta Evraziiskoi ehkonomicheskoi komissii. Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti myasa i myasnoi produktsil» (TR TS 034/2013): utv. 9 oktyabrya 2013 goda, № 68 // Ehlektronnyi fond pravovykh i normativnykh dokumentov. – 2021, aprel' – 14. (In Russian).
17. Plan HACCP. Upravlenie riskami <https://www.techconsult.com.ua/ru/sistemy-menedzhmenta-iso/plan-haccp-upravlenie-riskami/> 10.10.2020. (In Russian).

### **Информация о финансировании**

*Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант AP14972876).*

**А.М. Байкадамова<sup>1\*</sup>, Е.С. Жарыкбасов<sup>1</sup>, К.С. Жарыкбасова<sup>2</sup>, Б.А. Идырышев<sup>1</sup>,  
Ж.Б. Асиржанова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы Университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Глинки көшесі, 20 А

<sup>2</sup>Alikhan Bokeikhan University  
071400, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Мәңгілік Ел көшесі, 11

\*e-mail: asemgul93@yandex.ru

### **ЕТ ӨНЕРКӘСІБІ КӘСІПОРЫНДАРЫНДА НАССР ЖҮЙЕСІН ЕНГІЗУ: НЕГІЗГІ КЕЗЕҢДЕРІ МЕН АРТЫҚШЫЛЫҚТАРЫ**

*Бұл мақала ет өнеркәсібіндегі НАССР жүйесін талдауға арналған. Өндіріс процесінің барлық кезеңдерінде ет өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етудің маңыздылығына ерекше назар аударылады. Мысал ретінде ет және сүйек пастасы қосылған "фирмалық" ет пастасын өндіру қарастырылады. Тәуекелдерді талдаудан бастап құжаттау процедураларына дейін НАССР жүйесінің жеті қағидасы келтірілген. Ет пастасын өндірудің технологиялық процесінің әр кезеңіндегі қауіптердің егжей-тегжейлі талдауы сипатталған. Әрбір процесс үшін патогендік микроорганизмдермен өнімнің ластану қаупін болдырмау немесе азайту үшін арнайы бақылауды қажет ететін сыни бақылау нүктелері (ККТ) анықталады. Зерттеу Семейдегі ет өнімдерін шығаратын кәсіпорында жүргізілді. Ет пастасының эксперименттік партиясы әзірленді, онда бес маңызды бақылау нүктесі анықталды: Шикізатты қабылдау, ағарту, дайындау, салқындату және орау/сақтау. Ет өңдеу зауытында НАССР жүйесін сәтті енгізу лаптаушы заттардың айтарлықтай төмендеуіне, қауіпсіздік стандарттарының сақталуына және тұтынушылардың сенімін арттыруға әкелді. Бұл нәтижелер қауіпсіз және тұрақты азық-түлік жеткізу тізбегін құру үшін НАССР принциптерін кеңірек енгізу қажеттілігін растайды.*

**Түйін сөздер:** НАССР, тағам қауіпсіздігі, сыни бақылау нүктелері, ет өнеркәсібі, ет өңдеу кәсіпорны.

**A. Baikadamova<sup>1\*</sup>, Ye. Zharykbassov<sup>1</sup>, K. Zharykbassova<sup>2</sup>, B. Idyryshev<sup>1</sup>, Zh. Assirzhanova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, st. Glinka, 20 A

<sup>2</sup>Alikhan Bokeikhan University  
071400, Republic of Kazakhstan, Semey, st. Mangilik EI, 11

\*e-mail: asemgul93@yandex.ru

## **IMPLEMENTATION OF THE HACCP SYSTEM AT MEAT INDUSTRY ENTERPRISES: MAIN STAGES AND ADVANTAGES**

*This article is devoted to the analysis of the HACCP system in the meat industry. Special attention is paid to the importance of ensuring the safety of meat products at all stages of the production process. As an example, the production of meat paste «Branded» with the addition of meat and bone paste is considered. Seven principles of the HACCP system are given, starting with risk analysis and ending with documentation procedures. A detailed analysis of the hazards at each stage of the technological process of meat paste production is described. Critical control points (CCTS) are identified for each process, which require special control to prevent or minimize the risk of contamination of products by pathogenic microorganisms. The study was conducted at a meat production facility in Semey.*

*An experimental batch of meat paste was developed, in which five critical control points were identified: raw material acceptance, blanching, cooking, cooling and packaging/storage. The successful implementation of the HACCP system at the meat processing plant has led to a significant reduction in the content of pollutants, ensuring compliance with safety standards and increasing consumer confidence. These results confirm the need for broader implementation of HACCP principles to create a safer and more sustainable food supply chain.*

**Key words:** HACCP, food safety, critical control points, meat industry, meat processing enterprise.

### **Сведения об авторах**

**Асемгуль Мадениетовна Байкадамова\*** – PhD кафедрасы «Пищевые технологии»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: asemgul93@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0062-6997>.

**Ерлан Сауыкович Жарыкбасов** – PhD, и.о. ассоциированного профессора кафедры «Биотехнология» Университета имени Шакарима города Семей, Казахстан, e-mail: erlan-0975@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9707-0539>.

**Клара Сауыковна Жарыкбасова** – доктор технических наук, проректор по учебно-методической работе Alikhan Bokeikhan University, Казахстан, e-mail: klara\_zharykbassova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2027-3183>.

**Берік Арыстанбекұлы Идырышев** – старший преподаватель, PhD кафедрасы «Пищевые технологии»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: b\_1991@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0495-2530>.

**Жанна Баимбековна Асиржанова** – кандидат технических наук кафедрасы «Пищевые технологии»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: aszb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5699-7044>.

### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Асемгуль Мадениетовна Байкадамова\*** – «Тамақ технологиялары» кафедрасының PhD докторы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: asemgul93@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0062-6997>.

**Ерлан Сауыкович Жарыкбасов** – PhD докторы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің «Биотехнология» кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а., Қазақстан, e-mail: erlan-0975@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9707-0539>.

**Клара Сауыковна Жарыкбасова** – техника ғылымдарының докторы, Alikhan Bokeikhan University оқу-әдістемелік жұмыс жөніндегі проректоры, Қазақстан, e-mail: klara\_zharykbassova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2027-3183>.

**Берік Арыстанбекұлы Идырышев** – «Тамақ технологиялары» кафедрасының аға оқытушысы, PhD; Шәкәрім атындағы университет отбасы қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: b\_1991@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0495-2530>.

**Жанна Баимбековна Асиржанова** – «Тамақ технологиялары» кафедрасының техника ғылымдарының кандидаты; Шәкәрім атындағы отбасы қаласы Университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: aszb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5699-7044>.

### Information about the authors

**Assemgul Baikadamova\*** – PhD of the Department of Food Technologies; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: asemgul93@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0062-6997>.

**Zharykbassov Yeralan** – PhD, acting Associate Professor, Department of Biotechnology, Shakarim University, Semey, Kazakhstan, e-mail: erlan-0975@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9707-0539>.

**Zharykbassova Klara** – Doctor of Technical Sciences, Vice-Rector for Educational and Methodological Work at Alikhan Bokeikhan University, Kazakhstan, e-mail: klara\_zharykbassova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2027-3183>.

**Idyryshev Berik** – PhD of the Department of Food Technologies; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: b\_1991@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0495-2530>.

**Asirzhanova Zhanna** – Candidate of Technical Sciences, Department of Food Technologies; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: aszb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5699-7044>.

*Поступила в редакцию 20.08.2024*  
*Поступила после доработки 24.09.2024*  
*Принята к публикации 25.09.2024*



В.М. Юров\*, К.Н. Жангозин<sup>1</sup>, Т.К. Жанабергенов<sup>1</sup>, Д.Б. Каргин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ТОО «Восток»,

010000, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Республика, д. 3/2

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,

010008, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2

\*e-mail: exciton@list.ru

### ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ ГРАФЕНА

**Аннотация:** Рассмотрен метод «лежащей капли» для определения поверхностной энергии твердых тел –  $\gamma$ . Для графита и графена этим методом были получены средние значения –  $\gamma_2 = 53,6 \pm 2,1$  и  $\gamma_1 = 44,8 \pm 14,7$  мДж/м<sup>2</sup>. Методом раскалывания кристаллов для графита было получено среднее значения  $\gamma_2 = 3250$  мДж/м<sup>2</sup>, что в 60 раз превышает значение  $\gamma_2$ , полученной методом «лежащей капли». Анализ обоих методов показал, что метод «лежащей капли» для определения поверхностной энергии твердых тел нельзя применять без его модификации. Нами предлагаются новые методы определения поверхностной энергии твердых тел: 1) через температуру плавления твердого тела; 2) через размерную зависимость физического свойства от толщины осаждаемого покрытия; 3) через измеряемую величину контактной разности потенциалов. Для графена получены следующие значения –  $\gamma_1 = 947,1$ ;  $\gamma_1 = 974$ ;  $\gamma_1 = 960$  мДж/м<sup>2</sup>, что на порядок выше, чем в методе «лежащей капли». Значения  $\gamma_1$  нужно умножить на 3 и получим значения для графита –  $\gamma_2 = 2841$ ;  $\gamma_2 = 2922$ ,  $\gamma_2 = 2880$  мДж/м<sup>2</sup>, что незначительно отличается от метода раскалывания кристаллов.

**Ключевые слова:** графит, графен, поверхностная энергия, метод «лежащей капли», раскалывание кристалла, твердое тело.

**Введение.** Использование поверхностных явлений в производственной деятельности человека позволяет интенсифицировать существующие технологические процессы. Для техники важны такие поверхностные явления, как смазочное трение и износ, контактные взаимодействия, структурные изменения в композиционных материалах, а также электрические и электрохимические процессы и явления на поверхностях твердых тел. Знание поверхностных явлений в живой природе позволяет сознательно влиять на биологические процессы с целью повышения продуктивности сельского хозяйства, развития микробиологической промышленности, расширения возможностей медицины и ветеринарии. В биологии поверхностные явления играют важную роль, прежде всего, на клеточном, и молекулярном уровнях организации живых систем. Различные биологические мембраны отграничивают клетку от внешней среды и обеспечивают её микрогетерогенность. На мембранах клетки происходят фундаментальные для жизни процессы. Экспериментальное определение поверхностного натяжения твердых тел затруднено тем, что их молекулы (атомы) лишены возможности свободно перемещаться. Исключение составляет пластическое течение металлов при температурах, близких к точке плавления.

Графен, открытый 20 лет тому назад [1, 2], представляет собой удивительный материал, применяемый в различных областях человеческой деятельности (рис. 1) [3-5]. Графен – двумерная аллотропная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом ( $R(l) = a = 0,246$  нм – постоянная решетки), находящихся в

состоянии  $sp^2$  – гибридизации. Углеродные атомы в графеновых слоях находятся в трехкоординированном состоянии, т.е. каждый из них образует ковалентные связи с тремя соседями. В результате образуется сетка из гексагонов, вершинами которых являются атомы углерода, углерод-углеродные связи образуют соответствующие стороны. Методы получения графена довольно разнообразны, обзор которых проведен в работах [2-6]. В работах [7-9] предложена оригинальная инновационная методика для получения графена микрокластерной водой в сочетании с ультразвуком и электрическим полем.

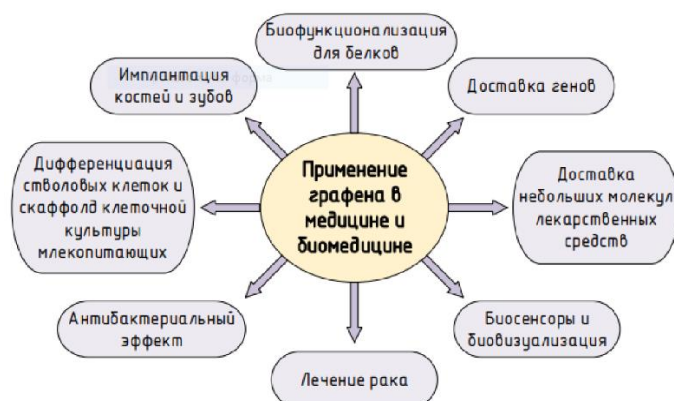


Рисунок 1 – Применение графена в медицине, биологии и биомедицине [6]

**Целью** настоящей статьи является краткий обзор определения поверхностной энергии (ПЭ) графена и предложение собственного теоретического и экспериментального метода определения ПЭ графена, играющей важную роль во всех процессах человеческой деятельности.

**Определения поверхностной энергии графита и графена.** В настоящее время известно более двадцати методов определения ПЭ ( $\gamma$ ). Методам определения ПЭ твердых тел посвящено много монографий, статей и патентов (смотри библиографию в работах [10, 11]). Для графена и графита используют методы ПЭ: метод «лежащей капли» (рис. 2а) и метод раскалывания (расщепления) кристаллов (рис. 2б).

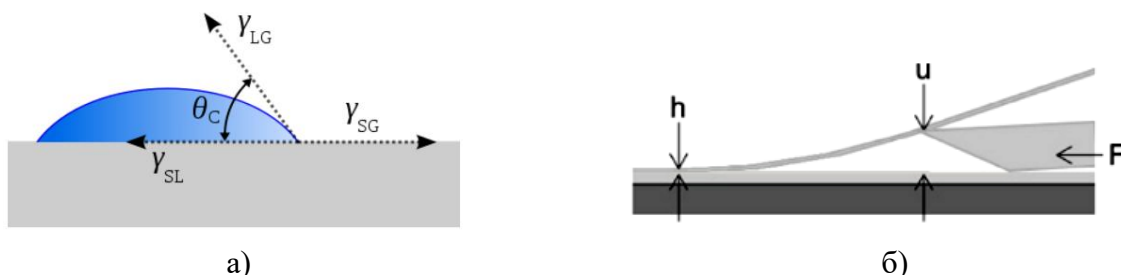


Рисунок 2 – Иллюстрация метода лежащей капли с жидкой каплей частичное смачивание твердой основы (а); расщепление кристаллов с помощью кварцевого клина (б)

В методе лежащей капли используется уравнение Юнга:

$$\cos \theta_c = (\gamma_{SG} - \gamma_{SL}) / \gamma_{LG}, \quad (1)$$

где  $\gamma_{SG}$ ,  $\gamma_{SL}$  – величины поверхностных энергий на границах твердое тело/пар и твердое тело/жидкость соответственно;  $\gamma_{LG}$  – величина поверхностной энергии на границе жидкость/пар (энергия поверхностного натяжения).

В методе И.В. Обреимова раскалывания (расщепления) кристаллов производится по формуле:

$$\gamma = \frac{E \cdot h^2}{24(1 - \mu^2)} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial \mu^2}, \quad (2)$$

где  $E$  – модуль Юнга,  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $h$  – толщина пленки,  $u$  – угол между касательной к изогнутому контуру отщепившейся пластинки и направлением движения устья развивающейся трещины.

В работе [12] методом лежащей капли ПЭ графена и оксида графена составляет 46,7 и 62,1 мДж/м<sup>2</sup> соответственно, в то время как чешуйки природного графита демонстрируют свободную поверхностную энергию 54,8 мДж/м<sup>2</sup> при комнатной температуре. В работе [13] показано, что ПЭ взвешенного монослойного графена равна нулю, что свидетельствует о его супергидрофобности. Это следует из уравнения (1), где угол контакта  $\theta$  любой капли жидкости на подвешенном монослое графена равен 180°. Этот экспериментальный результат был подтвержден теоретически методом молекулярной динамики. В работе [14] отмечено: одним из преимуществ угла смачивания для измерения ПЭ является то, что это широко используемый, относительно простой эксперимент, не требующий дорогостоящего специализированного оборудования. В этой работе было получено, что ПЭ базисной плоскости графита равна  $63 \pm 7$  мДж/м<sup>2</sup>, независимо от размера чешуек графита. Поверхностная энергия базисной плоскости графена составляет  $62 \pm 4$  мДж/м<sup>2</sup>, независимо от размера нанолита. В последней работе [15] показано, что средние значения ПЭ графена, оксида графена и графита составляют соответственно  $44,8 \pm 14,7$ ,  $47,9 \pm 7,2$  и  $53,6 \pm 2,1$  мДж/м<sup>2</sup>. Обратимся к предыдущей статье этих авторов и представим их результаты в виде таблицы 1 [16].

Таблица 1 – Статические углы контакта и связанная с ними свободная энергия поверхности

Подложка	Жидкость	$\theta \pm 1$	$\gamma$ , мДж/м <sup>2</sup>
Si	Вода	64	66,75
Si/графен	Вода	92	42,49
Cu-чистый	Вода	68	60,42
Cu-чистый	5.123M NaCl	87	44,76
Cu/графен	Вода	86	45,27
Cu/графен	1.256M NaCl	77	51,06
Cu/графен	2.022M NaCl	71	56,72
Cu/графен	2.468M NaCl	80	48,85
Cu/графен	2.775M NaCl	72	55,65
Cu/графен	3.677M NaCl	75	52,74
Cu/графен	5.173M NaCl	76	51,87

Наиболее надежный вариант метода определения  $\gamma$ , основанный на расщеплении кристалла, был предложен в 1930 г. И.В. Обреимовым [17]. Идея этой работы заключается в следующем. От кристалла слюды по плоскости спайности отщепляется пластинка, которая под влиянием момента сил, действующего против поверхностных сил, частично изгибается (рис. 2б). Это пластинка может быть использована в качестве динамометра, измеряющего отщепляющее усилие. Недавно в работе [18] проведено исследование посредством расщепления слюды способом, аналогичным подходу Обреимова, но уже используя современные методы исследования. Энергия адгезии:  $W_a = 2\gamma = 0,81 \pm 0,38$  Дж/м<sup>2</sup>, у Обреимова [17]  $W_a = 0,76$  Дж/м<sup>2</sup>, в работах [19, 20]  $W_a = 0,6 \pm 0,8$  Дж/м<sup>2</sup>, а в нашей теоретической работе  $W_a = 0,809$  Дж/м<sup>2</sup> [21].

Метод Обреимова использовался для графита в работах [21-24], анализ которых был проведен в работе [25]. ПЭ призматической грани графита оказалась равной  $\gamma_a = 1500-5000$  мДж/м<sup>2</sup>, ПЭ базисной грани графита оказалась равной  $\gamma_c = 130-150$  мДж/м<sup>2</sup>. Это значительная разница между значениями для графита (смотри, выше). Причина, по которой методы лежащей капли и расщепление кристаллов дают значения с разницей на порядок величин заключается в следующем: во-первых, классическое уравнение Юнга, полученное на основании термодинамического подхода, не работает. Поэтому уравнение краевого угла смачивания требует серьезного пересмотра. И такой пересмотр был сделан в работе [26]. Новое уравнение краевого угла смачивания называют сейчас уравнением Юнга-Верхоломова:

$$\cos \theta_c = (\gamma_A - \gamma_{SL}) / \gamma_{LG}, \quad (3)$$

где  $\gamma_A$  – сила адгезии на границе твердое тело/пар;  $\gamma_{SL}$ ,  $\gamma_{LG}$  – поверхностные натяжения жидкости на границах раздела жидкость/твердое тело и жидкость/пар, соответственно.

Во-вторых, метод лежащей капли дает значение поверхностного натяжения жидкости на твердом теле, а не саму поверхностную энергию этого же твердого тела. Это значит, что все работы [12-16], основанные на методе лежащей капли не могут давать значение ПЭ твердого тела. Это связано с тем, что по Гиббсу необходимо различать поверхностную энергию и поверхностное натяжение твердых тел, они совпадают только для жидкостей. На сегодня связь между величиной поверхностной энергии  $\gamma$  и поверхностным натяжением  $\sigma$  определяется уравнением Шаттльворта:

$$\gamma = \sigma + \Omega \left( \frac{d\sigma}{dT} \right)_T \quad (4)$$

Здесь  $\Omega$  – площадь поверхности твердого тела;  $T$  – температура. Значит, в таблице 1 нужно заменить величину  $\gamma$  на величину  $\sigma$ . Сказанное подтверждается тем, что в табл. 1 для меди Cu с водой получено  $\gamma = 60.42$  мДж/м<sup>2</sup>. Однако, точное измерение поверхностной энергии меди методом «нулевой ползучести» [27] дано в табл. 2.

Таблица 2 – Поверхностная энергия чистых металлов [27]

Металл	$\gamma$ , мДж/м <sup>2</sup>	Металл	$\gamma$ , мДж/м <sup>2</sup>	Металл	$\gamma$ , мДж/м <sup>2</sup>
Ag	1205	$\delta$ -Fe	1910	Si	2130
Au	1410	$\gamma$ -Fe	2170	Sn	673
Al	1140	Ga	767	Ta	2480
Bi	504	Cd	820	Ti	1938
Cd	675	In	633	Tl	562
Co	2424	Mo	2630	V	1950
Cr	2090	Nb	2210	W	2690
Cu	1520	Ni	1940	Zn	868

Из сравнения таблиц 1 и 2 видно, что метод лежащей капли не подходит для графита и графена. Для графена не подходит и метод Обреимова, так как имеется одна одноатомная плоскость, и потому раскалывать нечего.

**Наши методы определения поверхностной энергии графена.** В работе [28] показано, что ПЭ объемного кристалла (графита)  $\gamma_2$  с точностью до 3% равна:

$$\gamma_2 = 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot T_m [\text{Å}^2/\text{Å}^2], \quad (5)$$

где  $T_m$  – температура плавления графена ( $T_m = 4510$  К).

В нанослое графита (графен) нужно учесть размерный эффект и ПЭ графена становится равной  $\gamma_1$  [29]:

$$\gamma_1 = \gamma_2 (1 - R(l)/R(l) + h) \approx 0,3\gamma_2, \quad (6)$$

Уравнение (6) показывает, что ПЭ в три раза меньше ПЭ основного кристалла.

Из уравнений (5) и (6) для графена следует –  $\gamma_1(\text{Гр}) = 947,1$  мДж/м<sup>2</sup>. ПЭ призматической грани графита оказалась равной  $\gamma_a = 1500-5000$  мДж/м<sup>2</sup>. Среднее значение  $\gamma_a = 3250$  мДж/м<sup>2</sup>, а  $\gamma_a/\gamma_1(\text{Гр}) \approx 3$ , т.е. в 3 раза меньше графита (основного кристалла). Значит для графена теоретическое значение ПЭ –  $\gamma_1(\text{Гр}) = 947,1$  мДж/м<sup>2</sup>. Метод лежащей капли дает, что значения ПЭ графена -  $44,8 \pm 14,7$ , что на порядок отличаются от нашего значения.

В работах [30-32] нами были предложены новые методы определения ПЭ. Они были основаны на размерной зависимости осаждаемого покрытия. В первом методе предусматривается измерение ПЭ путем определения зависимости микротвердости от толщины осаждаемого покрытия. Во втором методе предусматривается измерение ПЭ по зависимости электропроводности  $\Omega$  покрытия от его толщины  $h$ . Формулы эти таковы:

$$\mu = \mu_0 \cdot \left( 1 - \frac{d}{h} \right), \quad \Omega = \Omega_0 \cdot \left( 1 - \frac{d}{h} \right), \quad (7)$$

где  $\mu$  – микротвердость осаждаемого покрытия;  $\mu_0$  – «толстого» образца;  $h$  – толщина осаждаемого покрытия,  $\Omega_0$  – электрическая проводимость массивного образца.

Параметр  $d$  связан с ПЭ  $\sigma$  формулой:

$$d = \frac{2\gamma \cdot \nu}{RT}, \quad (8)$$

где  $\gamma$  – ПЭ массивного образца (графита);  $\nu$  – объем одного моля;  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – температура.

В координатах  $\mu \sim 1/h$  ( $1/h$  – обратная толщина осаждаемого покрытия) получается прямая, тангенс угла наклона который определяет  $d$ , и по формуле (8) рассчитывается ПЭ осаждаемого покрытия ( $\gamma$ ).

Рассмотрим теперь определение ПЭ графита, осаждаемого на кварцевую пластину магнетронным методом. Результаты показаны на рисунке 3.

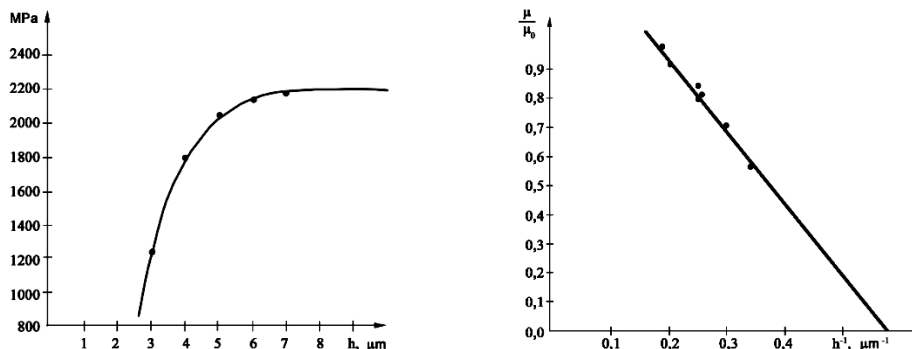


Рисунок 3 – Зависимость микротвердости от толщины (а) и обратной толщины (б) покрытия графена на кварцевой подложке.

В координатах  $\mu/\mu_0 \sim 1/h$  экспериментальная кривая спрямляется в соответствии с формулой (7), давая значение  $h = 0,8$  мкм. Для графена  $\nu = 5,3$  см<sup>3</sup>/моль и из соотношения (8) для ПЭ получено  $\gamma(\text{Гр}) = 974$  мДж/м<sup>2</sup>. Это, в принципе, согласуется с полученным значением  $\gamma(\text{Гр}) = 947,1$  мДж/м<sup>2</sup> в пределах ошибки экспериментов.

Чтобы определить ПЭ твердых тел нами разработан прибор [33], суть которого состоит в следующем. Разработанный нами способ измерения контактной разности потенциалов (КРП) имеет особенности: КРП измеряется осциллографом, регистрирующим напряжение и частоту периодически изменяющейся КРП между контролируемой образцом и измерительным электродом ИЭ датчика прибора; экранирование элементов датчика и проводов; усиление регистрируемой КРП; подготовка поверхностей детали и датчика к измерению КРП. В качестве регистратора КРП нами был выбран портативный цифровой осциллограф Micsig TO1104 планшетного типа, имеющий чувствительность измерения электрического напряжения 0,5 мВ. Датчик, подключаемый к осциллографу, авторы разработали сами. Основную часть конструкции датчика прибора измерения КРП составляет электронная схема, которая позволяет контактирующему с металлической деталью ИЭ датчика работать в автоколебательном режиме. Кроме того, в состав датчика входит предварительный усилитель сигнала. Комплекс измерения КРП, разработанный авторами, представлен на рис. 3а. Принципиальная схема датчика представлена на рисунке 4.

Энергия  $\gamma$  вычислялась по формуле:

$$\gamma = 0.028 \cdot 10^{19} \cdot \frac{\varphi - U \cdot 1.6022 \cdot 10^{-19}}{S} \cdot \left( \frac{\hat{I} \hat{A}}{\hat{I}_1} \right)^{0.3358} + 0.083. \quad (9)$$

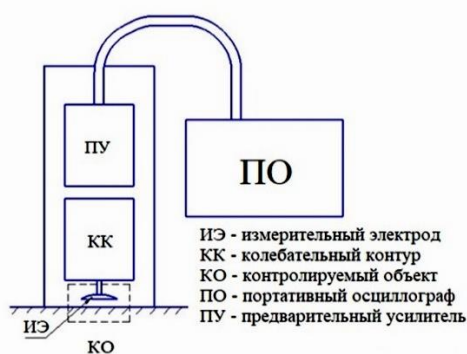
Все обозначения в формуле (9) даны в работе [33]. Здесь  $U$  = КРП. Чешуйки графена для измерения КРП изготавливались по методике [8] путем расщепления графита микрокластерной водой. Измерение КРП для графена дало результат –  $U = 4,75$  эВ и постановка его в уравнение (9) (с остальными параметрами) дало результат  $\gamma(\text{Гр}) = 960$  мДж/м<sup>2</sup>.

Если теперь сравнить значения величин:  $\gamma(\text{Гр}) = 974$  мДж/м<sup>2</sup>;  $\gamma(\text{Гр}) = 947,1$  мДж/м<sup>2</sup> и  $\gamma(\text{Гр}) = 960$  мДж/м<sup>2</sup> то можно утверждать, что метод лежащей капли, не пригоден для определения ПЭ графена, а может быть и для других твердых тел.





а)



б)

Рисунок 4 – Комплекс измерения контактной разности потенциалов (а);  
принципиальная схема датчика (б)

**Заключение.** Первое экспериментальное определение ПЭ твердых тел было начато Тамманом почти 100 лет тому назад (1927) и продолжается до сих пор (Федоров, 2023). Метод «лежачей капли» не требует специального дорогого оборудования и этим методом для графена и графита за последние 15 лет получены значения ПЭ близкие по своему значению, но для графита эта величина ПЭ на порядок отличается от метода раскалывания кристаллов. Анализ этих методов показал, что, несмотря на простоту исполнения метода «лежачей капли», его нельзя применять для определения ПЭ твердых тел. В статье предлагаются новые методы определения ПЭ твердых тел.

#### Список литературы

1. Electric field effect in atomically thin carbon films / K.S. Novoselov et al // Science. – 2004. – V. 306, № 5696. – P. 666-669.
2. Новоселов К.С. Графен: материалы Флатландии / К.С. Новоселов // УФН. – 2011. – Т. 181, № 12. – С. 1299-1311.
3. Баимова Ю.А. Графен, нанотрубки и другие углеродные наноструктуры / Ю.А. Баимова, Р.Р. Мулюков. – М.: Российская академия наук, 2018. – 212 с.
4. Zhang T. Graphene. From Theory to Applications / T. Zhang. – Springer, 2022. – 142 p.
5. Gupta R.K. 3D Graphene. Fundamentals, Synthesis and Emerging Applications / R.K. Gupta. – Springer, 2023. – 441 p.
6. Гаршев А.В. Мониторинг развития и внедрения технологий получения графена, его производных, других 2D кристаллов и производства изделий на основе 2D кристаллов в Российской Федерации и мире / А.В. Гаршев. – М.: Отчет РФ, 2019. – 396 с.
7. Жангозин К.Н. О новом методе получения порошкового графена / К.Н. Жангозин, Т.К. Жанабергенов, Д.Б. Каргин // Вестник ЕНУ им. Л. Гумилёва. – 2021. – Том 136, № 3. – С. 8-16.
8. Жангозин К.Н. Новый метод получения графена интеркаляцией графита микрокластерной водой / К.Н. Жангозин. – Алматы: Darkhan, 2023. – 102 с.
9. Поверхностные явления в графите и получение из него графена / В.М. Юров и др. // Новости науки Казахстана. – 2024. – № 1. – С. 11-23.
10. Шибзухова И.Г. Поверхностные энергия и натяжение металлических кристаллов, кинетика адсорбции компонентов бинарных систем: дис. докт. физ.-мат. наук: 01.04.07 / Шибзухова Ирина Гусейновна; Кабард.-Балкар. гос. ун-т им. Х.М. Бербекова. – Нальчик, 2013. – 370 с.
11. Федоров В.Т. Поверхностная энергия в процессах измельчения твердых тел / В.Т. Федоров, М.Н. Кокоев // Вестник Дагестанского ГТУ. Технические науки. – 2023. – Т. 50(3). – С. 181-189.
12. Wettability and surface free energy of graphene films / S. Wang et al // Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids. – 2009. – Vol. 25, № 18. – P. 11078-11081.
13. Su R. Wettability and Surface Free Energy Analyses of Monolayer Graphene / R. Su, X. Zhang // Journal of Thermal Science. – 2018. – Vol. 27(5934). – P. 1-5.
14. Ferguson A. The Surface Energetics of Low Dimensional Nanomaterials / A. Ferguson. – Trinity College Dublin. – 2016. – 188 p.

15. Rohman N. Surface free energy of graphene-based coatings and its component elements / N. Rohman, T. Mohiuddin, M. Al-Rugeishi // *Inorganic Chemistry Communications*. – 2023. – Vol. 153(4). – P. 10855-110855.
16. Graphene Surface Energy by Contact Angle Measurements / M.S. Al-Rugeishi et al // *Arabian Journal for Science and Engineering*. – 2022. – P. 1-6.
17. Obreimoff J.W. The splitting reigth of mica / J.W. Obreimoff // *Proc. Roy. Soc.* – 1930. – V. A127. – P. 290-293.
18. Obreimoff revisited: Controlled heterogeneous fracture through the splitting of mica / M. Johnson et al // *Mechanics of Materials*. – 2019. – V. 136(01). – P. 103088.
19. Interfacial energy states of moisture-exposed cracks in mica / K.-T. Wan et al // *J. Mater. Res.* – 1990. - V. 5(1). – P. 172-182.
20. Wan K.-T. Fracture and contact adhesion energies of mica-mica, silica-silica, and mica-silica interfaces in dry and moist atmospheres / K.-T. Wan, D.T. Smith, B.R. Lawn // *J. Am. Ceram. Soc.* – 1992. – V. 75(3). – P. 667-676.
21. Yurov V. About the mechanism of mica splitting / V. Yurov, K. Zhangozin // *Sciences of Europe*. – 2024. – № 133. – P. 97-104.
22. Ножкина А.В. Поверхностная энергия алмаза и графита / А.В. Ножкина, В.И. Костиков // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения*. – 2017. – Вып. 20. – С. 161-167.
23. Турчанинов М.А. Механизмы кристаллизации жидкого углерода, полученного при плавлении графита импульсом лазера в газовых средах с давлением ~ 10 МПа : диссертация ... кандидата физико-математических наук: 01.04.14 / Турчанинов Михаил Александрович; Объед. ин-т высок. температур РАН. – Москва, 2010. – 128 с.
24. Jiang Q. Thermodynamic phase stabilities of nanocarbon / Q. Jiang, Z.P. Chen // *Carbon*. – 2006. – Vol. 44, iss. 1. – P. 79-83.
25. Сенють В.Т. Термодинамический анализ процесса формирования наноструктурного поликристаллического материала на основе наноалмазов, модифицированных неалмазным углеродом (часть 2) / В.Т. Сенють, П.А. Витязь, А.М. Парницкий // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2023. – № 4(65). – С. 76-84.
26. Verkholomov V.K. Physical Features of the New Equation (Equation Jung - Verkholomov) of Contact Angle. / V.K. Verkholomov // *Materials of the XII international research and practice conference «Science, Technology and Higher Education»*. – December 21-22, 2016. – Westwood, Canada. – P. 97-110.
27. Хоконов Х.Б. Поверхностная энергия и поверхностное натяжение металлов и их бинарных сплавов в твердом состоянии / Х.Б. Хоконов, Т.М. Таова, Б.Б. Алчагиров // *КБГУ*. – 2019. – Т. IX, № 2. – С. 5-19.
28. Рехвиашвили С.Ш. К расчету постоянной Толмена / С.Ш. Рехвиашвили, Е.В. Кишტიкова, Р.Ю. Кармокова // *Письма в ЖТФ*. – 2007. – Т. 33, Вып. 2. – С. 1-7.
29. Юров В.М. Исследование первичных нанотрещин атомарно-гладких металлов / В.М. Юров, В.И. Гончаренко, В.С. Олешко // *Письма в ЖТФ*. – 2023. – Том 49, вып. 8. – С. 35-38.
30. Юров В.М., Портнов В.С., Пузеева М.П. Пат. 58155 Республика Казахстан. Способ измерения поверхностного натяжения и плотности поверхностных состояний диэлектриков. опубл. 15.12.2008, Бюл. № 12.
31. Пат. 58158 Республика Казахстан. МПК: G01N 27/76. Способ измерения поверхностного натяжения магнитных материалов / Юров В.М., Портнов В.С., Пузеева М.П.; заявитель и патентообладатель Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова. – № G01N 27/76 (2006.01); заявл. 07.06.2006; опубл. 15.12.2008, Бюл. № 12. – 3 с.
32. Пат. 23223 Республика Казахстан. МПК G01N 27/76 (2009.01). Способ измерения поверхностного натяжения осаждаемых покрытий / Юров В.М., Гученко С.А., Ибраев Н.Х.; заявитель и патентообладатель Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова; заявл. 27.05.2009; опубл. 15.11.2010, Бюл. № 11. – 3 с.
33. Development of a device for determining work electron output / V.M. Yurov et al // *Eurasian Physical Technical Journal*. – 2020. – Vol. 17, № 1(33). – P. 127-131.

## References

1. Electric field effect in atomically thin carbon films / K.S. Novoselov et al // *Science*. – 2004. – V. 306, № 5696. – P. 666-669. (in English).
2. Novoselov K.S. Grafen: materialy Flatlandii / K.S. Novoselov // *UFN*. – 2011. – T. 181, № 12. – S. 1299-1311. (in Russian).
3. Baimova YU.A. Grafen, nanotrubki i drugie uglerodnye nanostruktury / YU.A. Baimova, R.R. Mulyukov. – M.: Rossiiskaya akademiya nauk, 2018. – 212 s. (in Russian).
4. Zhang T. Graphene. From Theory to Applications / T. Zhang. – Springer, 2022. – 142 p. (in English).
5. Gupta R.K. 3D Graphene. Fundamentals, Synthesis and Emerging Applications / R.K. Gupta. – Springer, 2023. – 441 p. (in English).
6. Garshev A.V. Monitoring razvitiya i vnedreniya tekhnologii polucheniya grafena, ego proizvodnykh, drugikh 2D kristallov i proizvodstva izdelii na osnove 2D kristallov v Rossiiskoi Federatsii i mire / A.V. Garshev. – M.: Otchet RF, 2019. – 396 s. (in Russian).
7. Zhangozin K.N. O novom metode polucheniya poroshkovogo grafena / K.N. Zhangozin, T.K. Zhanabergenov, D.B. Kargin // *Vestnik ENU im. L. Gumileva*. – 2021. – tom 136, № 3. – S. 8-16. (in Russian).
8. Zhangozin K.N. Novyi metod polucheniya grafena interkalyatsiei grafita mikroklasternoii vodoi / K.N. Zhangozin. – Almaty: Darkhan, 2023. – 102 s. (in Russian).
9. Poverkhnostnye yavleniya v grafite i poluchenie iz nego grafena / V.M. Yurov i dr. // *Novosti nauki Kazakhstana*. – 2024. – № 1. – S. 11-23. (in Russian).
10. Shebzukhova I.G. Poverkhnostnye ehnergiya i natyazhenie metallicheskih kristallov, kinetika adsorbtsii komponentov binarnykh sistem: dis. dokt. fiz.-mat. nauk: 01.04.07 / Shebzukhova Irina Guseinovna; Kabard. – Balkar. gos. un-t im. KH.M. Berbekova. – Nal'chik, 2013. – 370 s. (in Russian).
11. Fedorov V.T. Poverkhnostnaya ehnergiya v protsessakh izmel'cheniya tverdykh tel / V.T. Fedorov, M.N. Kokoev // *Vestnik Dagestanskogo GTU. Tekhnicheskie nauki*. – 2023. – T. 50(3). – S. 181-189. (in Russian).
12. Wettability and surface free energy of graphene films / S. Wang et al // *Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids*. – 2009. – Vol. 25, № 18. – P. 11078-11081. (in English).
13. Su R. Wettability and Surface Free Energy Analyses of Monolayer Graphene / R. Su, X. Zhang // *Journal of Thermal Science*. – 2018. – Vol. 27(5934). – P. 1-5. (in English).
14. Ferguson A. The Surface Energetics of Low Dimensional Nanomaterials / A. Ferguson. – Trinity College Dublin. – 2016. – 188 p. (in English).
15. Rohman N. Surface free energy of graphene-based coatings and its component elements / N. Rohman, T. Mohiuddin, M. Al-Rugeishi // *Inorganic Chemistry Communications*. – 2023. – Vol. 153(4). – P. 10855-110855. (in English).
16. Graphene Surface Energy by Contact Angle Measurements / M.S. Al-Ruqeishi et al // *Arabian Journal for Science and Engineering*. – 2022. – P. 1-6. (in English).
17. Obreimoff J.W. The splitting reigth of mica / J.W. Obreimoff // *Proc. Roy. Soc.* – 1930. – V. A127. – P. 290-293. (in English).
18. Obreimoff revisited: Controlled heterogeneous fracture through the splitting of mica / M. Johnson et al // *Mechanics of Materials*. – 2019. – V. 136(01). – R. 103088. (in English).
19. Interfacial energy states of moisture-exposed cracks in mica / K.-T. Wan et al // *J. Mater. Res.* – 1990. – V. 5(1). – R. 172-182. (in English).
20. Wan K.-T. Fracture and contact adhesion energies of mica-mica, silica-silica, and mica-silica interfaces in dry and moist atmospheres / K.-T. Wan, D.T. Smith, B.R. Lawn // *J. Am. Ceram. Soc.* – 1992. – V. 75(3). – R. 667-676. (in English).
21. Yurov V. About the mechanism of mica splitting / V. Yurov, K. Zhangozin // *Sciences of Europe*. – 2024. – № 133. – R. 97-104. (in English).
22. Nozhkina A.V. Poverkhnostnaya ehnergiya almaza i grafita / A.V. Nozhkina, V.I. Kostikov // *Porodorazrushayushchii i metalloobrabatyvayushchii instrument – tekhnika, tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya*. – 2017. – Vyp. 20. – S. 161-167. (in Russian).
23. Turchaninov M.A. Mekhanizmy kristallizatsii zhidkogo ugleroda, poluchennogo pri plavlenii grafita impul'som lazera v gazovykh sredakh s davleniem ~ 10 MPa : dissertatsiya ... kandidata fiziko-matematicheskikh nauk : 01.04.14 / Turchaninov Mikhail Aleksandrovich; Ob"ed. in-t vysok. temperatur RAN. – Moskva, 2010. – 128 s. (in Russian).

24. Jiang Q. Thermodynamic phase stabilities of nanocarbon / Q. Jiang, Z.P. Chen // Carbon. – 2006. – Vol. 44, iss. 1. – P. 79-83. (in English).
25. Senyut' V.T. Termodinamicheskii analiz protsessa formirovaniya nanostruktornogo polikristallicheskogo materiala na osnove nanoalmazov, modifitsirovannykh nealmaznym uglerodom (chast' 2) / V.T. Senyut', P.A. Vityaz', A.M. Parnitskii // Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov. – 2023. – № 4(65). – S. 76-84. (in Russian).
26. Verkholomov V.K. Physical Features of the New Equation (Equation Jung – Verkholomov) of Contact Angle. / V.K. Verkholomov // Materials of the XII international research and practice conference «Science, Technology and Higher Education». – December 21-22, 2016. – Westwood, Canada. – P. 97-110. (in Russian).
27. Khokonov KH.B. Poverkhnostnaya ehnergiya i poverkhnostnoe natyazhenie metallov i ikh binarnykh splavov v tverdom sostoyanii / KH.B. Khokonov, T.M. Taova, B.B. Alchagirov // KBGU. – 2019. – T. IX, № 2. – S. 5-19. (in Russian).
28. Rekhviashvili S.SH. K raschetu postoyannoi Tolmena / S.SH. Rekhviashvili, E.V. Kishtikova, R.YU. Karmokova // Pis'ma v ZHTF. – 2007. – T. 33, Vyp. 2. – S. 1-7. (in Russian).
29. Yurov V.M. Issledovanie pervichnykh nanotreshchin atomarno-gladkikh metallov / V.M. Yurov, V.I. Goncharenko, V.S. Oleshko // Pis'ma v ZHTF. – 2023. – Tom 49, vyp. 8. – S. 35-38. (in Russian).
30. Yurov V.M., Portnov V.S., Puzeeva M.P. Pat. 58155 Respublika Kazakhstan. Sposob izmereniya poverkhnostnogo natyazheniya i plotnosti poverkhnostnykh sostoyanii dielektrikov. opubl. 15.12.2008, Byul. № 12. (in Russian).
31. Pat. 58158 Respublika Kazakhstan. MPK: G01N 27/76. Sposob izmereniya poverkhnostnogo natyazheniya magnitnykh materialov / Yurov V.M., Portnov V.S., Puzeeva M.P.; zayavitel' i patentoobladatel' Karagandinskii gosudarstvennyi universitet im. E.A. Buketova. – № G01N 27/76 (2006.01); zayavl. 07.06.2006; opubl. 15.12.2008, Byul. № 12. – 3 s. (in Russian).
32. Pat. 23223 Respublika Kazakhstan. MPK G01N 27/76 (2009.01). Sposob izmereniya poverkhnostnogo natyazheniya osazhdaemykh pokrytii / Yurov V.M., Guhenko S.A., Ibraev N.KH.; zayavitel' i patentoobladatel' Karagandinskii gosudarstvennyi universitet im. E.A. Buketova; zayavl. 27.05.2009; opubl. 15.11.2010, Byul. № 11. – 3 s. (in Russian).
33. Development of a device for determining work electron output / V.M. Yurov et al // Eurasian Physical Technical Journal. – 2020. – Vol. 17, № 1(33). – R. 127-131. (in English).

### Информация о финансировании

*Данная научная статья опубликована в рамках выполнения грантового финансирования на 2024-2026 годы ИРН № AP32488258 «Разработка инновационной технологии получения графена интеркаляцией графита микрокластерной водой и модификация графеном ВТСП керамики» (исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан).*

**В.М. Юров\***, **К.Н. Жанғозин<sup>1</sup>**, **Т.Қ. Жаңабергенов<sup>1</sup>**, **Д.Б. Қаргин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ЖШС «Восток»,

010000, Қазақстан, Астана қ., пр. Республика, 3/2, ап. 40

<sup>2</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,

010008, Қазақстан, Астана, көш. Сәтбаева, 2

\*e-mail: exciton@list.ru

### ГРАФЕННІҢ БЕТІНІҢ ЭНЕРГИЯСЫ

*Қатты денелердің беттік энергиясын анықтаудың «отырған тамшы» әдісі –  $\gamma$  – қарастырылады. Графит пен графен үшін бұл әдіс орташа мәндерді алды:  $\gamma_2 = 53,6 \pm 2,1$  және  $\gamma_1 = 44,8 \pm 14,7$  мДж/м<sup>2</sup>. Графит үшін кристалдарды бөлу әдісін қолдану арқылы  $\gamma_2 = 3250$  мДж/м<sup>2</sup> орташа мәні алынды, бұл «отырған тамшы» әдісімен алынған  $\gamma_2$  мәнінен 60 есе жоғары. Екі әдісті талдау қатты денелердің беттік энергиясын анықтауға арналған «отырған тамшы» әдісін өзгертусіз қолдануға болмайтынын көрсетті. Қатты денелердің беттік энергиясын анықтаудың жаңа әдістерін ұсынамыз: 1) қатты дененің балку температурасы арқылы; 2) тұндырылған жабынның қалыңдығына физикалық қасиетінің өлшемдік тәуелділігі арқылы; 3) контакт потенциалының айырмасының өлшенген мәні арқылы. Графен үшін келесі мәндер алынды:  $\gamma_1 = 947,1$ ;  $\gamma_1 = 974$ ;  $\gamma_1 = 960$  мДж/м<sup>2</sup>, бұл «отырған тамшы» әдісіне қарағанда үлкен дәреже.  $\gamma_1$  мәндерін 3-ке көбейту керек және*

графит үшін мәндерді аламыз –  $\gamma_2 = 2841$ ;  $\gamma_2 = 2922$ ,  $\gamma_2 = 2880$  мДж/м<sup>2</sup>, бұл кристалды бөлу әдісінен аздап ерекшеленеді.

**Түйін сөздер:** графит, графен, беттік энергия, отырықсыз түсу әдісі, кристалды бөлу, қатты.

V.M. Yurov\*, K.N. Zhangozin<sup>1</sup>, T.K. Zhanabergenov<sup>1</sup>, D.B. Kargin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LLP «Vostok»,

010000, Kazakhstan, Astana, Respublika Ave., 3/2, apt. 40

<sup>2</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University,

010008, Kazakhstan, Astana, Satpayev str., 2

\*e-mail: exciton@list.ru

## SURFACE ENERGY OF GRAPHENE

The «sessile drop» method for determining the surface energy of solids –  $\gamma$  is considered. For graphite and graphene, this method yielded average values of  $\gamma_2 = 53.6 \pm 2.1$  and  $\gamma_1 = 44.8 \pm 14.7$  mJ/m<sup>2</sup>. Using the crystal cleavage method for graphite, the average value of  $\gamma_2 = 3250$  mJ/m<sup>2</sup> was obtained, which is 60 times higher than the value of  $\gamma_2$  obtained by the "sessile drop" method. Analysis of both methods showed that the "sessile drop" method for determining the surface energy of solids cannot be used without modification. We propose new methods for determining the surface energy of solids: 1) through the melting point of a solid; 2) through the size dependence of a physical property on the thickness of the deposited coating; 3) through the measured value of the contact potential difference. The following values were obtained for graphene:  $\gamma_1 = 947.1$ ;  $\gamma_1 = 974$ ;  $\gamma_1 = 960$  mJ/m<sup>2</sup>, which is an order of magnitude higher than in the sessile drop method. The values of  $\gamma_1$  must be multiplied by 3 and we obtain the values for graphite –  $\gamma_2 = 2841$ ;  $\gamma_2 = 2922$ ,  $\gamma_2 = 2880$  mJ/m<sup>2</sup>, which differs slightly from the crystal splitting method.

**Key words:** graphite, graphene, surface energy, sessile drop method, crystal cleavage, solid.

### Сведения об авторах

**Виктор Михайлович Юров\*** – ведущий научный сотрудник ТОО «ТСК-Восток», кандидат физико-математических наук, доцент; e-mail: exciton@list.ru

**Канат Накошевич Жангозин** – директор, ведущий научный сотрудник ТОО «ТСК-Восток», кандидат физико-математических наук, доцент; e-mail: 4kzh@mail.ru

**Тимурхан Кудайбергенович Жанаберженов** – ведущий научный сотрудник ТОО «ТСК-Восток», доктор PhD; e-mail: 4tkz@bk.ru

**Джумат Бейсенбекович Каргин** – кандидат физико-математических наук, доцент, директор департамента коммерциализации технологий Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева; e-mail: kargin\_db@enu.kz

### Авторлар туралы мәліметтер

**Виктор Михайлович Юров\*** – «TSC-Vostok» ЖШС жетекші ғылыми қызметкері, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент; e-mail: exciton@list.ru

**Қанат Накошұлы Жангозин** – «TSC-Vostok» ЖШС директоры, жетекші ғылыми қызметкері, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент; e-mail: 4kzh@mail.ru

**Тимурхан Құдайбергенұлы Жаңаберженов** – «TSC-Vostok» ЖШС жетекші ғылыми қызметкері, PhD докторы; e-mail: 4tkz@bk.ru

**Жұмат Бейсенбекұлы Қаргин** – физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, Еуразия ұлттық университетінің технологияларды коммерцияландыру департаментінің директоры. Л.Н. Гумилев; e-mail: kargin\_db@enu.kz

### Information about authors

**Viktor Mikhailovich Yurov\*** – Leading researcher of ТОО «TSC-Vostok», candidate of physical and mathematical sciences, associate professor; e-mail: exciton@list.ru

**Kanat Nakoshevich Zhangozin** – Director, Leading Researcher of «TSC-Vostok» LLP, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; e-mail: 4kzh@mail.ru

**Timurkhan Kudaibergenovich Zhanabergenov** – Leading researcher of «TSC-Vostok» LLP, PhD; e-mail: 4tkz@bk.ru

**Djumat Beisenbekovich Kargin** – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, director of the department of technology commercialization of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov; e-mail: kargin\_db@enu.kz

Поступила в редакцию 22.06.2024

Поступила после доработки 01.07.2024

Принята к публикации 03.07.2024

**A. Bektemissov\*, A. Kassymov, Zh. Akishov, A. Adykanova, T. Umyrzhan**  
Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street  
\*e-mail: anuar.bektemissov@icloud.com

## INVESTIGATION OF THE HEAT CAPACITIES OF NANOFUIDS BASED ON NANOPARTICLES OF $Al_2O_3$ , $TiO_2$ AND $CuO$ BY THE ADDITIVE METHOD

**Abstract:** *This study investigates the thermal properties of nanofluids, with a particular focus on their heat capacity when various nanoparticles are integrated into a base fluid. Nanofluids, which are composed of nanoparticles dispersed within a base fluid, are of significant interest due to their enhanced thermal characteristics compared to traditional fluids. The research employs the additive method, a widely used technique for estimating the effective heat capacity of nanofluids. This method posits that the total heat capacity of a nanofluid can be approximated by summing the contributions of each component according to its volume or mass fraction. This research represents the effect of nanoparticle concentration (1wt.%, 3 wt.%, 5 wt.%) on effective heat capacity of  $TiO_2$  based nanofluid. The analysis reveals that key factors influencing the heat capacity of a nanofluid, as determined by the additive method, include the heat capacities of the individual components and the concentration of the nanoparticles. Specifically, the greater the disparity in heat capacities between the base fluid and the nanoparticles, and the higher the nanoparticle concentration, the more the nanofluid's heat capacity shifts toward that of the nanoparticles. The calculations in this study indicate that the most significant decrease in heat capacity occurs in a nanofluid containing 5 wt.%  $Al_2O_3$  nanoparticles with water as the base fluid. Conversely, the smallest reduction is observed in a nanofluid with 1 wt.%  $Al_2O_3$  nanoparticles in a 50% aqueous ethylene glycol solution.*

**Key words:** *nanofluid, specific heat capacity, thermophysical properties, nanoparticles, heat transfer.*

### Introduction

Nanofluids, which are engineered colloidal suspensions of nanoparticles with dimensions typically below 100 nm (including metals, metal oxides, carbides, or carbon nanotubes), have garnered significant research interest due to their superior thermal properties compared to traditional heat transfer fluids. These properties make nanofluids promising candidates for enhancing thermal management systems across a range of applications, such as heat exchangers, electronic cooling systems, and thermal energy storage [1-5].

The base fluids used in nanofluids play a crucial role in determining their overall thermal performance. Common base fluids include water, ethylene glycol, oils, and a variety of organic solvents [6-10]. Water is often favored for its high specific heat capacity, excellent thermal conductivity, and low cost. However, its relatively high freezing point and corrosiveness can limit its application in certain environments. Ethylene glycol, either in pure form or as a water mixture, is widely utilized in automotive cooling systems due to its lower freezing point and ability to reduce corrosion, despite its lower thermal conductivity compared to water.

Oils, including mineral and synthetic oils, are frequently employed as base fluids in high-temperature applications due to their high boiling points and chemical stability. However, its relatively low thermal conductivity and high viscosity can limit their effectiveness. Organic solvents, such as alcohols or acetone, are sometimes used in specialized applications where specific chemical compatibility or low viscosity is required.

Incorporating nanoparticles into these base fluids significantly alters their thermophysical properties. The effective heat capacity of nanofluids is not merely a straightforward combination of the base fluid and nanoparticle properties but is influenced by complex interactions, including particle-fluid interactions, particle size and shape, and the concentration of nanoparticles. These factors must be carefully optimized to tailor the nanofluid for specific applications, ensuring enhanced thermal performance while maintaining stability and minimizing any adverse effects on the system components.

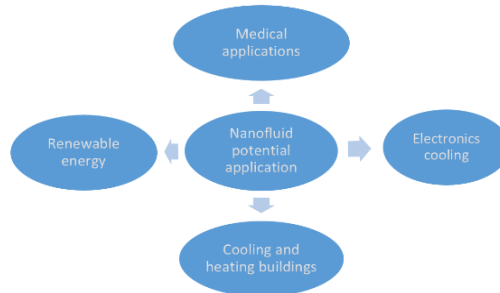


Figure 1 – Potential applications of nanofluids in various fields of industry and economics

### Methodology

In this research, the effective heat capacity of nanofluids is determined using the additive method, which assumes that the total heat capacity of the nanofluid can be derived by summing the contributions of the individual components—namely, the base fluid and the nanoparticles—based on their respective volume or mass fractions. The research focuses on three types of nanoparticles: aluminum oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), titanium oxide (TiO<sub>2</sub>), and copper oxide (CuO). These nanoparticles are dispersed in two different base fluids: water and a 50:50 mixture of ethylene glycol and water (EG:W). The thermophysical properties, including heat capacity and thermal conductivity, of nanoparticles like Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, and CuO, as well as liquids such as water and aqueous ethylene glycol solution, are detailed in references [11, 12].

For a nanofluid consisting of a base fluid and dispersed nanoparticles, the effective heat capacity  $C_{nf}$  can be calculated using the following equation:

$$C_{nf} = wt \cdot C_{np} + (1 - wt) \cdot C_{bf} \quad (1)$$

Where  $wt$  – weight concentration of nanoparticles,  $C_{np}$  – nanoparticles specific heat capacity (kJ/kg·K),  $C_{bf}$  – base fluid specific heat capacity (kJ/kg·K).

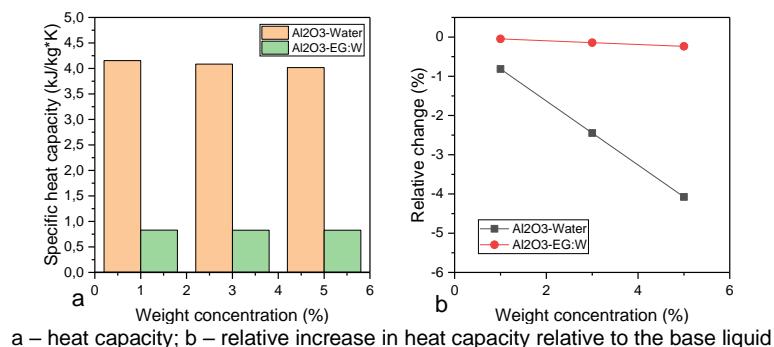
The relative change in specific heat capacity  $C_{pr}$  was determined by comparing the nanofluid to base fluid (water or 50% aqueous ethylene glycol solution). This comparison was calculated using the following formula:

$$C_{pr} = \frac{(C_{nf} - C_{bf})}{C_{bf}} \cdot 100\% \quad (2)$$

### Results

In this research, the heat capacity of a nanofluid was calculated using the additive method for three different types of nanoparticles: aluminum oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), titanium oxide (TiO<sub>2</sub>), and copper oxide (CuO). The base fluids used were distilled water and a 50:50 mixture of ethylene glycol and water (EG:W) at 20°C. The isobaric heat capacity of water at 20°C is 4.187 kJ/kg·K, while that of the 50% ethylene glycol solution at the same temperature is 0.830 kJ/kg·K.

The results indicate that the concentration of nanoparticles significantly influences the heat capacity of the nanofluid. Specifically, in the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water-based nanofluid, an increase in nanoparticle concentration from 1 wt.% to 5 wt.% resulted in a decrease in heat capacity from 4.153 kJ/kg·K to 4.005 kJ/kg·K, corresponding to a reduction of 0.8% at 1 wt.% and 4.1% at 5 wt.%. In contrast, the ethylene glycol-water solution exhibited a more consistent decrease in heat capacity, with the maximum reduction observed at 5 wt.% being approximately 0.24 % (fig.2).



a – heat capacity; b – relative increase in heat capacity relative to the base liquid  
Figure 2 – Nanofluid based on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles

A comparable reduction in heat capacity is observed with  $\text{TiO}_2$  nanoparticles. In comparison to  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , the  $\text{TiO}_2$ -water nanofluid at 5 wt.% exhibits a reduction in heat capacity by 4,2%. Additionally, the heat capacity of the 5 wt.%  $\text{TiO}_2$ -EG:W nanofluid shows a 0.34% greater decrease than that of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (fig.3).

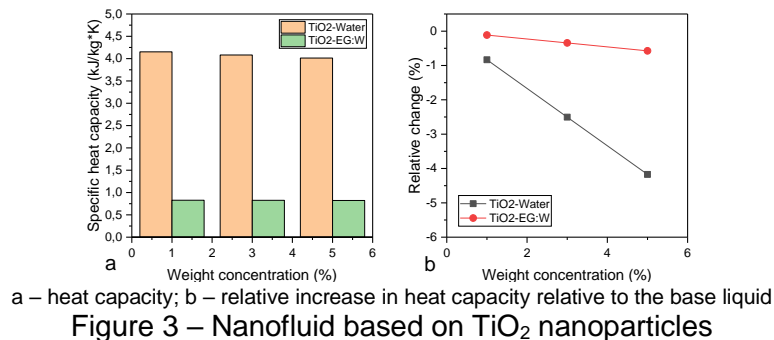


Figure 3 – Nanofluid based on  $\text{TiO}_2$  nanoparticles

For nanofluids based on  $\text{CuO}$  nanoparticles, the calculations indicate the most significant decrease in heat capacity for both types of base fluids, particularly in the EG:W mixture. Specifically, the heat capacity of the  $\text{CuO}$ -EG:W nanofluid decreases from 0.827 kJ/(kg·K) to 0.816 kJ/(kg·K), representing a percentage reduction ranging from 0.2% to 1.16% (fig.4).

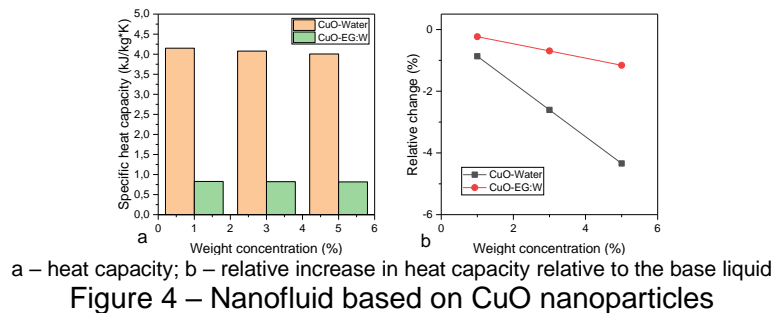


Figure 4 – Nanofluid based on  $\text{CuO}$  nanoparticles

## Conclusion

This research investigates the impact of varying nanoparticle concentrations (1 wt%, 3 wt%, and 5 wt%) on the effective heat capacity of a  $\text{TiO}_2$ -based nanofluid, using two different base liquids. The substantial reduction in the heat capacity of nanofluids containing all three types of water-based nanoparticles can be largely attributed to the significant differences in the heat capacities of the individual components. In contrast, when using an EG:W mixture as the base fluid, these differences are less pronounced, resulting in a maximum decrease in heat capacity of only about 1.2 %, even with a nanoparticle concentration of 5 wt.%. While the additive method has limitations, it remains a valuable tool for providing an initial approximation of nanofluid heat capacity and is commonly employed in the study and application of nanofluids. However, this method does not account for several critical factors, such as nanoparticle interactions, non-uniform distribution within the fluid, and nanoscale effects that can significantly influence thermal behavior.

## References

1. Choi S. Developments and applications of non-Newtonian flows, 1995: Presented at the 1995 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, ... 12-17, 1995, San Francisco, California.
2. Elcock D. Potential impacts of nanotechnology on energy transmission applications and needs / D. Elcock // Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States). – 2007. <https://doi.org/10.2172/924389>.
3. Manna I. Synthesis, characterization and application of nanofluid – an overview / I. Manna // Journal of the Indian Institute of Science. – 2009. – T. 89, № 1. – C. 21-33.
4. Nanofluid research and applications: A review / J. Li et al // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2021. – T. 127. – C. 105543.
5. Sharma A.K. Progress of nanofluid application in machining: a review / A.K. Sharma, A.K. Tiwari, A.R. Dixit // Materials and Manufacturing Processes. – 2015. – T. 30, № 7. – C. 813-828.



6. Abu-Nada E. Effect of nanofluid variable properties on natural convection in enclosures filled with a CuO–EG–water nanofluid / E. Abu-Nada, A.J. Chamkha // International Journal of Thermal Sciences. – 2010. – Т. 49, № 12. – С. 2339-2352.
7. Thermal conductivity of Cu/TiO<sub>2</sub>–water/EG hybrid nanofluid: Experimental data and modeling using artificial neural network and correlation / M.H. Esfe et al // International communications in heat and mass transfer. – 2015. – Т. 66. – С. 100-104.
8. Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Cu/water hybrid nanofluid in heat transfer / S. Suresh et al // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2012. – Т. 38. – С. 54-60.
9. The effect of alumina/water nanofluid particle size on thermal conductivity / T.P. Teng et al // Applied Thermal Engineering. – 2010. – Т. 30, № 14-15. – С. 2213-2218.
10. Heat transfer enhancement of a radiator with mass-producing nanofluids (EG/water-based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids) for cooling a 100 kW high power system / T.J. Choi et al // Applied Thermal Engineering. – 2020. – Т. 180. – С. 115780.
11. Sarkar J. A critical review on convective heat transfer correlations of nanofluids / J. Sarkar // Renewable and sustainable energy reviews. – 2011. – Т. 15, № 6. – С. 3271-3277.
12. Ethylene Glycol. Thermal Properties of Ethylene Glycol [Electronic resource]. URL: [https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d\\_146.html](https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html) (date of application: 30.08.2024).

**А.А. Бектемисов\*, А.Б. Касымов, Ж.К. Акишов, А.Ж. Адылканова, Т.Н. Умыржан**

Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

\*e-mail: anuar.bektemisov@icloud.com

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ НАНОЖИДКОСТЕЙ НА БАЗЕ НАНОЧАСТИЦ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> и CuO АДДИТИВНЫМ МЕТОДОМ**

*В этом исследовании изучаются теплофизические свойства наножидкостей, уделяя особое внимание их теплоемкости. Наножидкости, состоящие из наночастиц, диспергированных в базовой жидкости, представляют значительный интерес из-за их улучшенных тепловых характеристик по сравнению с традиционными жидкостями. В исследовании используется аддитивный метод – широко используемый метод оценки эффективной теплоемкости наножидкостей. Этот метод подразумевает, что общую теплоемкость наножидкости можно аппроксимировать путем суммирования вкладов каждого компонента в соответствии с его объемом или массовой долей. Данное исследование представляет влияние концентрации наночастиц (1 мас.%, 3 мас.%, 5 мас.%) на эффективную теплоемкость наножидкости на основе TiO<sub>2</sub>. Анализ показывает, что ключевыми факторами, влияющими на теплоемкость наножидкости, определенную аддитивным методом, являются теплоемкость отдельных компонентов и концентрация наночастиц. В частности, чем больше разница в теплоемкостях между базовой жидкостью и наночастицами и чем выше концентрация наночастиц, тем больше теплоемкость наножидкости смещается в сторону теплоемкости наночастиц. Расчеты в данной работе показывают, что наиболее существенное снижение теплоемкости происходит в наножидкости, содержащей 5 мас.% наночастиц Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, с водой в качестве базовой жидкости. Напротив, наименьшее снижение наблюдается в наножидкости с 1 мас.% наночастиц Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в 50% водном растворе этиленгликоля.*

**Ключевые слова:** наножидкость, удельная теплоемкость, теплофизические свойства, наночастицы, теплообмен.

**А.А. Бектемисов\*, А.Б. Касымов, Ж.К. Акишов, А.Ж. Адылканова, Т.Н. Умыржан**

Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20 А

\*e-mail: anuar.bektemisov@icloud.com

#### **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ЖӘНЕ CuO НАНОБӨЛШЕКТЕР НЕГІЗІНДЕГІ НАНОСҰЙЫҚТЫҚТАРДЫҢ ЖЫЛУ СЫЙЫМДЫЛЫҒЫН АДДИТИВТІК ӘДІС АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ**

*Бұл зерттеуде наносұйықтықтардың жылу сыйымдылығына ерекше назар аударып, олардың жылуфизикалық қасиеттері зерттеледі. Сұйықтықта дисперсті нанобөлшектерден тұратын наносұйықтықтар дәстүрлі сұйықтықпен салыстырғанда жылулық көрсеткіштерінің жақсаруына байланысты қызығушылық тудырады. Зерттеуде наносұйықтықтардың тиімді жылу сыйымдылығын бағалаудың кең ауқымды қолданылатын аддитивті әдіс пайдаланады. Бұл әдіс наносұйықтықтың жалпы жылу сыйымдылығын оның көлеміне немесе массалық бөліктеріне сәйкес әрбір компоненттің үлестерін қосу арқылы жуықтауға болады деп болжайды. Бұл зерттеу*

нанобөлшек концентрациясының (мас. 1%, 3 масса%, 5 масса%)  $TiO_2$  негізіндегі наносұйықтықтың тиімді жылу сыйымдылығына әсерін көрсетеді. Талдау көрсеткендей, аддитивті әдіспен анықталатын наносұйықтықтың жылу сыйымдылығына әсер ететін негізгі факторлар жеке компоненттердің жылу сыйымдылығы және нанобөлшектердің концентрациясы болып табылады. Атап айтқанда, негізгі сұйықтық пен нанобөлшектердің арасындағы жылу сыйымдылықтарының айырмашылығы және нанобөлшектердің концентрациясы неғұрлым жоғары болса, нанобөлшектердің жылу сыйымдылығы соғұрлым нанобөлшектердің жылу сыйымдылығына қарай ығысады. Бұл жұмыстағы есептеулер жылу сыйымдылығының ең елеулі төмендеуі құрамында 5 масс. %  $Al_2O_3$  нанобөлшектері бар наносұйықтықта, негізгі сұйықтық ретінде – су. Керісінше, ең аз төмендеу 50% сулы этиленгликоль ерітіндісіндегі 1 масс.%  $Al_2O_3$  нанобөлшектері бар наносұйықтықта байқалады.

**Түйін сөздер:** наносұйықтық, меншікті жылу сыйымдылығы, жылуфизикалық қасиеттер, нанобөлшектер, жылу алмасу.

#### Information about the authors

**Anuar Bektemissov\*** – PhD student, Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: anuar.bektemissov@icloud.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0364-4632>.

**Askar Kassymov** – PhD, acting associate professor, Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: kassymov.asb@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1983-6508>.

**Zhandos Akishov** – Master's degree, Shakarim University of Semey. Republic of Kazakhstan; e-mail: zhandosakishov@gmail.com.

**Ainur Adykanova** – PhD student, Shakarim University of Semey. Republic of Kazakhstan; e-mail: aikoba8383@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6068-3941>.

**Temirlan Umyrzhan** – PhD student; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: timirlan-95@mail.ru. ORCID: 0009-0008-9111-1975.

#### Сведения об авторах

**Ануар Алмасбекович Бектемисов\*** – PhD докторант, Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: anuar.bektemissov@icloud.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0364-4632>.

**Аскар Багдатович Касымов** – PhD, и.о. ассоциированного профессора. Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: kassymov.asb@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1983-6508>.

**Жандос Қайрбеқұлы Акишов** – Магистр, преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика», Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: zhandosakishov@gmail.com.

**Айнур Жарылкасыновна Адылканова** – PhD докторант; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: aikoba8383@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6068-3941>.

**Темірлан Нұрланұлы Умыржан** – PhD докторант; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: timirlan-95@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9111-1975>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Ануар Алмасбекович Бектемисов\*** – PhD докторант; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: anuar.bektemissov@icloud.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0364-4632>.

**Аскар Багдатович Касымов** – PhD, қауымдастырылған профессор м.а.; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: kassymov.asb@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1983-6508>.

**Жандос Қайрбеқұлы Акишов** – «Техникалық ғылым және жылуэнергетика» кафедрасының оқытушысы, магистр; Университет имени Шакарима города Семей, Қазақстан Республикасы; e-mail: zhandosakishov@gmail.com.

**Айнур Жарылкасыновна Адылканова** – PhD докторант. Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: aikoba8383@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6068-3941>.

**Темірлан Нұрланұлы Умыржан** – PhD докторант; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: timirlan-95@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9111-1975>.

Received 04.09.2024

Revised 13.09.2024

Accepted 16.09.2024

**Н.А. Дёмин<sup>\*</sup>, А. Терзиев<sup>2</sup>, С.К. Абильдинова<sup>3</sup>, С.Н. Камарова<sup>4</sup>, Ж.Б. Сағдолдина<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Территориальный департамент Комитета Атомного и энергетического надзора и контроля  
Министерства энергетики Республики Казахстан по области Абай,  
071400, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Лукпана Утепбаева, д.4

<sup>2</sup>Софийский технический университет,  
1797, Республика Болгария, г. София, ул. проф. Георги Брадистиллов, 11

<sup>3</sup>Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,  
050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Байтурсынулы, д. 126/1

<sup>4</sup>Карагандинский индустриальный университет,  
101400, Республика Казахстан, г. Темиртау, пр. Республики 30

<sup>5</sup>Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова,  
070020, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, 30-й Гвардейской Дивизии, 34

\*e-mail: step112011@mail.ru

## К ВОПРОСУ СЖИГАНИЯ НЕПРОЕКТНОГО ТОПЛИВА

**Аннотация:** В настоящее время вопросы экологии и устойчивого развития становятся все более актуальными, и научное сообщество активно ищет пути к более эффективному и экологичному использованию возобновляемых источников энергии. Одним из таких направлений является разработка и совершенствование технологий сжигания угля в аэродинамических топках. Эта статья предлагает подробный анализ данной темы, рассматривая как теоретические аспекты, так и практические применения. Аэродинамические топки представляют собой специализированные устройства, предназначенные для сжигания твердого топлива, такого как уголь, с максимальной эффективностью и минимальным воздействием на окружающую среду. Основной принцип работы таких топков заключается в создании оптимальных условий для полного сгорания топлива, что достигается за счет тщательно спроектированной аэродинамики и управления процессом. Рассматривается работа котла на угле месторождения Каражыра. Данный уголь относится к непроектному топливу и требуется совершенствование процессов его сжигания для уменьшения вредных выбросов и повышения эффективности сжигания. Для энергетики Республики Казахстан проведенные исследования имеют важное значение, а полученные результаты могут быть использованы для регулирования и улучшения работы аналогичного оборудования, что способствует улучшению экологических показателей и общему повышению эффективности энергетических систем страны.

**Ключевые слова:** уголь, аэродинамическая топка, непроектное топливо, экология, энергетика.

### Введение

Развитие угольной энергетики в Казахстане продолжает оставаться важным аспектом энергетической политики. Республика Казахстан обладает большими запасами угля, который всё еще продолжает играть значительную роль в экономике страны, при этом разрабатываются новые месторождения и используются местные непроектные угли. С переходом на устойчивое развитие и интеграцию возобновляемых источников энергии необходимо найти баланс между традиционными и новыми формами энергетики. Влияние на экологическую обстановку и необходимость снижения выбросов углерода становятся приоритетными задачами. В Казахстане проводится модернизация угольных электростанций, что позволит не только повысить их эффективность, но и снизить негативное воздействие на окружающую среду. В этом контексте угольная энергетика, обладая своим потенциалом, может стать частью стратегии по достижению климатической устойчивости и энергетической независимости [1-3]. В мировой практике уголь также остается в центре внимания, разрабатываются и совершенствуются способы его сжигания, проводятся работы по снижению вредных выбросов [4-7].

### Условия и методы исследования

В данной работе объектом исследования является процесс горения угля разреза Каражыра марки Д в котле Е-90-3,9/440 [8]. Фото котла приведено на рисунке 1. У котла

оборудован электрофильтр для производства очистки дымовых газов от механических примесей.



Рисунок 1 – Котел Е-90-3,9/440

Испытания котла проводились по общепринятым методикам [9, 10].

Параметры котельного агрегата регистрировались стационарными приборами.

Анализы проб топлива и очаговых остатков проводили в химической лаборатории ТЭЦ-

1.

Анализы проб для определения рабочей влажности и зольности, низшей теплоты сгорания, тонины помола, золы для определения горючего углерода в уносе перед золоуловителем, горючего в шлаке проводились по методикам [9, 10].

Тепловой расчет проведен на основании [11].

### Результаты исследований

Состав угля разреза Каражыра марки Д представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав угля разреза Каражыра

Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Углерод	$C^r$	%	47,30
Водород	$H^r$	%	3,68
Кислород	$O^r$	%	12,50
Азот	$N^r$	%	0,74
Сера	$S^r$	%	0,34
Зола	$A^r$	%	21,44
Влага	$W^r$	%	14,00
Выход летучих	$V^{daf}$	%	47,20
Низшая теплота сгорания	$Q_i^r$	кДж/кг	18855
Коэффициент размолоспособности	$K_{до}$		1,06
Температура плавления золы			
Температура начала деформации золы	$t_1$	°С	1200
Температура начала размягчения золы	$t_2$	°С	1460
Температура начала жидкоплавкого состояния золы	$t_3$	°С	1500

Состав растопочного топлива (мазут-100) приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Состав угля растопочного мазута М-100

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Условная вязкость при 80 °С	°ВУ	16
Температура вспышки	°С	110
Температура застывания	°С	+25
Вязкость перед форсунками	°ВУ	2,5
Максимальная влажность	%	1,5
Максимальная зольность	%	0,14
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	39805

Исследования работы котла проводились при следующих тепловых нагрузках: 50 т/час; 75 т/час и 90 т/час.

На рисунке 2 показано как изменяется расход воздуха на всосе дутьевого вентилятора и коэффициент избытка воздуха в вихревой зоне топки с ростом теплопроизводительности.

На рисунке 3 показаны изменения расхода воздуха на всосе дутьевого вентилятора и коэффициент избытка воздуха в вихревой зоне топки с изменением паропроизводительности.

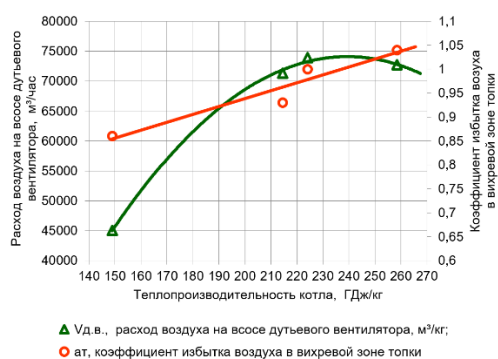


Рисунок 2 – Зависимость расхода воздуха на всосе дутьевого вентилятора и коэффициента избытка воздуха в вихревой зоне топки от теплопроизводительности

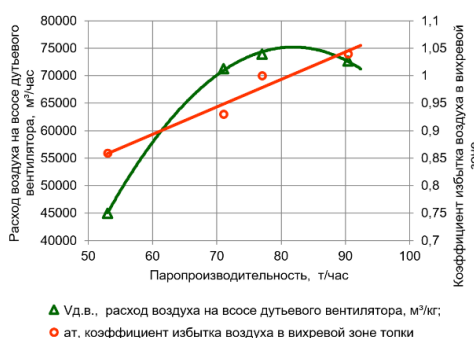


Рисунок 3 – Зависимость расхода воздуха на всосе дутьевого вентилятора и коэффициента избытка воздуха в вихревой зоне топки от паропроизводительности

В результате математической обработки получены уравнения зависимости расхода воздуха на всосе дутьевого вентилятора  $V_{д.в.т.}$ ,  $м^3/час$  и коэффициента избытка воздуха в вихревой зоне топки  $\alpha_{т.т.}$  от теплопроизводительности  $Q_K$ , ГДж/час:

$$V_{д.в.т.} = -3,5578Q_K^2 + 1703,3Q_K - 129770, \tag{1}$$

$$\alpha_{т.т.} = 0,0017Q_K + 0,607. \tag{2}$$

Также были получены зависимости расхода воздуха на всосе дутьевого вентилятора  $V_{д.в.п.}$ ,  $м^3/час$  и коэффициента избытка воздуха в вихревой зоне топки  $\alpha_{т.п.}$  от паропроизводительности  $D$ , т/час:

$$V_{д.в.п.} = -36,085D^2 + 5911,5D - 166897, \tag{3}$$

$$\alpha_{т.п.} = 0,005D + 0,5935. \tag{4}$$

#### Обсуждение научных результатов

Анализ полученных данных (рис. 2) показал, что с ростом теплопроизводительности котла происходит пропорциональное увеличение коэффициента избытка воздуха в вихревой зоне топки. При этом расход воздуха на всосе дутьевого вентилятора имеет точку перегиба, т.е. при росте теплопроизводительности увеличение расхода воздуха на всосе дутьевого вентилятора наблюдается до значения 240 ГДж/ч, а затем идет небольшой спад. В результате аппроксимации полученных данных была получена область оптимальных значений коэффициента избытка воздуха в вихревой зоне топки и расхода воздуха на всосе дутьевого вентилятора в диапазоне теплопроизводительности от 176 ГДж/ч до 255 ГДж/ч.

Проведенный анализ полученных результатов (рис. 3) показал, что при росте паропроизводительности также наблюдается пропорциональное увеличение коэффициента избытка воздуха в вихревой зоне топки. При этом расход воздуха на всосе дутьевого вентилятора имеет экстремум, т.е. при росте паропроизводительности увеличение расхода

воздуха на всосе дутьевого вентилятора наблюдается до значения 82 т/час, а затем идет небольшой спад. В результате аппроксимации полученных данных была получена область оптимальных значений коэффициента избытка воздуха в вихревой зоне топки и расхода воздуха на всосе дутьевого вентилятора в диапазоне значений паропроизводительности от 57 т/час до 90 т/час.

### **Заключение**

Получены зависимости расхода воздуха и коэффициента избытка воздуха всосе дутьевого вентилятора в зависимости от теплопроизводительности и паропроизводительности для котельного агрегата Е-90-3,9/440 при сжигании угля разреза Каражыра марки Д. Эти результаты могут служить для построения режимных карт.

### **Список литературы**

1. Угольная отрасль Казахстана: От переработки до устойчивого развития // URL: <https://dknews.kz/ru/ekonomika/289699-ugolnaya-otrasl-kazahstana-ot-pererabotki-do>.
2. АММ 2024: Угольная промышленность Казахстана и цифровизация горных работ // URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/mps/press/news/details/788299?lang=ru>.
3. К 2030 году уголь останется основным топливом в Казахстане как самый дешевый источник электроэнергии // URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=31374038&pos=4;-70#pos=4;-70](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31374038&pos=4;-70#pos=4;-70).
4. Comparative experimental study of ash formation behaviors during the fixed-bed gasification of coal water slurry and dry pulverized coal prepared from Shenmu coal / L. Changlin et al // Fuel. – 2024. – № 377.
5. Evolution mechanism of C/N-containing gas-solid groups during pulverized coal pressurized O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> devolatilization / W. Zhang et al // Fuel. – 2024. – № 376.
6. Studies on NO<sub>x</sub> formation and reduction characteristics in high-ash, low-volatile coal combustion by mechanism experiments and industrial-scale trials X. Li et al // Applied Thermal Engineering. – 2024. – № 256.
7. An experimental investigation on gasification-pyrolysis coupling characteristics of pulverized coal in circulating fluidized bed / X. Zhang et al // Journal of the Energy Institute. – 2024. – № 16.
8. Месторождение «Каражыра» // Каражыра URL: <http://www.karazhyra.kz/index.php>.
9. Григорьев К.А. Технология сжигания органических топлив / К.А. Григорьев, Ю.А. Рундыгин, А.А. Тринченко Технология // Энергетические топлива. СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та. – 2006. – 92 с.
10. Трёмбовля В.И. Теплотехнические испытания котельных установок: научное издание / В.И. Трёмбовля, Е.Д. Фингер, А.А. Авдеева, 1977. – 296 с.
11. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н.В. Кузнецова и др., М., «Энергия». – 2011. – 296 с.

### **References**

1. Ugol'naya otrasl' Kazakhstana: Ot pererabotki do ustoichivogo razvitiya // URL: <https://dknews.kz/ru/ekonomika/289699-ugolnaya-otrasl-kazahstana-ot-pererabotki-do>. (In Russian).
2. АММ 2024: Ugol'naya promyshlennost' Kazakhstana i tsifrovizatsiya gornyx rabot // URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/mps/press/news/details/788299?lang=ru>. (In Russian).
3. K 2030 godu ugol' ostanetsya osnovnym toplivom v Kazakhstane kak samyi deshevyi istochnik ehlektroehnergii // URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=31374038&pos=4;-70#pos=4;-70](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31374038&pos=4;-70#pos=4;-70). (In Russian).
4. Comparative experimental study of ash formation behaviors during the fixed-bed gasification of coal water slurry and dry pulverized coal prepared from Shenmu coal / L. Changlin et al // Fuel. – 2024. – № 377. (In English).
5. Evolution mechanism of C/N-containing gas-solid groups during pulverized coal pressurized O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> devolatilization / W. Zhang et al // Fuel. – 2024. – № 376. (In English).
6. Studies on NO<sub>x</sub> formation and reduction characteristics in high-ash, low-volatile coal combustion by mechanism experiments and industrial-scale trials X. Li et al // Applied Thermal Engineering. – 2024. – № 256. (In English).
7. An experimental investigation on gasification-pyrolysis coupling characteristics of pulverized coal in circulating fluidized bed / X. Zhang et al // Journal of the Energy Institute. – 2024. – № 16. (In English)

8. Mestorozhdenie «Karazhyra» // Karazhyra URL: <http://www.karazhyra.kz/index.php>. (In Russian).
9. Grigor'ev K.A. Tekhnologiya szhiganiya organicheskikh topliv / K.A. Grigor'ev, YU.A. Rundygin, A.A. Trichenko Tekhnologiya // Ehnergeticheskie topliva. SPb.: Izd-vo Politekhn. Un-ta. – 2006. – 92 s. (In Russian).
10. Trembovlya V.I. Teplotekhnicheskie ispytaniya kotel'nykh ustanovok: nauchnoe izdanie / V.I. Trembovlya, E.D. Finger, A.A. Avdeeva, 1977. – 296 s. (In Russian).
11. Teplovoi raschet kotel'nykh agregatov (Normativnyi metod). Pod red. N.V. Kuznetsova i dr., M., «EhnergiYA». – 2011. – 296 s. (In Russian).

**Н.А. Демин<sup>1</sup>, А. Терзиев<sup>2</sup>, С.К. Абильдинова<sup>3</sup>, С.Н. Камарова<sup>4</sup>, Ж.Б. Сағдолдина<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігі Атом және энергетикалық қадағалау және бақылау комитетінің Абай облысы бойынша аумақтық департаменті,

071400, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Лұқпан Өтепбаев көшесі, 4-үй

<sup>2</sup>София техникалық университеті,

1797, Болгария Республикасы, София қаласы, проф. Георги Брадистиллов көшесі, 11

<sup>3</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,  
050013, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Байтұрсынұлы к-сі, 126/1 үй

<sup>4</sup>Қарағанды индустриалды университеті,

101400, Қазақстан Республикасы, Теміртау қаласы, Республика даңғылы 30

<sup>5</sup>Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,  
070020, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ., 30-шы Гвардиялық Дивизия, 34

\*e-mail: step112011@mail.ru

### **ЖОБАЛЫҚ ЕМЕС ОТЫНДЫ ЖАҒУ МӘСЕЛЕСІНЕ**

*Қазіргі уақытта экология және тұрақты даму мәселелері өзекті бола түсуде және ғылыми қауымдастық жаңартылатын энергия көздерін тиімдірек және жасыл пайдалануға жолдарды белсенді түрде іздеуде. Осындай бағыттардың бірі аэродинамикалық оттықтарда көмір жағу технологияларын әзірлеу және жетілдіру болып табылады. Бұл мақалада теориялық аспектілерді де, практикалық қосымшаларды да қарастыра отырып, осы тақырыпты егжей-тегжейлі талдауды ұсынады. Аэродинамикалық оттықтар-бұл көмір сияқты қатты отынды жағуға арналған, тиімділігі жоғары және қоршаған ортаға аз әсер ететін арнайы құрылғылар. Мұндай оттықтардың негізгі жұмыс принципі жанармайдың толық жануы үшін оңтайлы жағдай жасау болып табылады, оған мұқият жобаланған аэродинамика және процесі басқару арқылы қол жеткізіледі. Қаражыр кен орнының көміріндегі қазандықтың жұмысы қарастырылуда. Бұл көмір жобаланбаған отынға жатады және зиянды шығарындыларды азайту және жағу тиімділігін арттыру үшін оны жағу процесстерін жетілдіру қажет. Қазақстан Республикасының энергетикасы үшін жүргізілген зерттеулердің маңызы зор, ал алынған нәтижелер ұқсас жабдықтардың жұмысын реттеу және жақсарту үшін пайдаланылуы мүмкін, бұл экологиялық көрсеткіштерді жақсартуға және елдің энергетикалық жүйелерінің тиімділігін жалпы арттыруға ықпал етеді.*

**Түйін сөздер:** көмір, аэродинамикалық оттық, жобалық емес отын, экология, энергетика.

**N.A. Demin<sup>1</sup>, A. Terziev<sup>2</sup>, S.K. Abildinova<sup>3</sup>, C.N. Kamarova<sup>4</sup>, J.B. Sagdoldina<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Territorial Department of the Committee for Atomic and Energy Supervision and Control of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan in the Abai region,

071400, Republic of Kazakhstan, Semey, Lukpan Utepbayeva str., 4

<sup>2</sup>Sofiysky Technical University,

1797, Republic of Bulgaria, Sofia, Prof. Georgi Bradistilov, 11

<sup>3</sup>Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications,  
050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, Baitursynuly str., 126/1

<sup>4</sup>Karagandinsky Industrial University,

30 Republic Ave., Temirtau, 101400, Republic of Kazakhstan

<sup>5</sup>East Kazakhstan Sarsen Amanzholov University,  
070020, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, 30th Guards Division , 34

\*e-mail: step112011@mail.ru

### **TO THE ISSUE OF NON-PROJECT FUEL COMBUSTION**

*Nowadays, the issues of ecology and sustainable development are becoming more and more urgent, and the scientific community is actively looking for ways to more efficient and environmentally friendly use of renewable energy sources. One of such directions is the development and improvement of coal combustion*

technologies in aerodynamic furnaces. This paper offers a detailed analysis of this topic, looking at both theoretical aspects and practical applications. Aerodynamic furnaces are specialised devices designed to burn solid fuels such as coal with maximum efficiency and minimum environmental impact. The basic principle of operation of such furnaces is to create optimum conditions for complete combustion of the fuel, which is achieved through carefully designed aerodynamics and process control. The operation of the boiler on the coal of Karazhyra deposit is considered. This coal belongs to non-project fuel and improvement of its combustion processes is required to reduce harmful emissions and increase combustion efficiency. For the energy sector of the Republic of Kazakhstan, the conducted research is important, and the results obtained can be used to regulate and improve the operation of similar equipment, which contributes to improving environmental performance and overall efficiency of the country's energy systems.

**Key words:** coal, aerodynamic furnace, non-project fuel, ecology, power engineering.

#### Сведения об авторах

**Николай Александрович Демин\*** – заместитель руководителя территориального департамента Комитета атомного и энергетического надзора и контроля Министерства энергетики Республики Казахстан по области Абай, Республика Казахстан; e-mail: step112011@mail.ru@mail.ru.

**Ангел Терзиев** – PhD, профессор; декан факультета «Энергетики и силовых машин»; Софийский технический университет, Республика Болгария; e-mail: aterziev@tu-sofia.bg. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1666-2781>.

**Сауле Кианбековна Абильдинова** – PhD, доцент кафедры «Менеджмент и предпринимательство в инженерии»; Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан; e-mail: saule18kz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9502-6208>.

**Сауле Нуртазаевна Камарова** – PhD, зав. кафедрой «Энергетика»; Карагандинский индустриальный университет, Республика Казахстан; e-mail: s.kamarova@tttu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8464-7204>.

**Жұлдыз Болатқызы Сағдолдина** – PhD, ассоциированный профессор; ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология»; Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова, Республика Казахстан; e-mail: sagdoldina@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Николай Александрович Демин\*** – Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігі Атомдық және энергетикалық қадағалау мен бақылау комитеті Абай облысы бойынша аумақтық департаменті басшысының орынбасары, Қазақстан Республикасы; e-mail: step112011@mail.ru@mail.ru.

**Ангел Терзиев** – PhD, профессор; «Энергетика және күш машиналары» факультетінің деканы; София техникалық университеті, Болгария Республикасы; e-mail: aterziev@tu-sofia.bg. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1666-2781>.

**Сауле Кианбековна Абильдинова** – PhD, «Инженериядағы менеджмент және кәсіпкерлік» кафедрасының доценті; Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: saule18kz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9502-6208>.

**Сауле Нуртазаевна Камарова** – PhD, «Энергетика» кафедрасының меңгерушісі; Қарағанды индустриалды университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: s.kamarova@tttu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8464-7204>.

**Жұлдыз Болатқызы Сағдолдина** – PhD, қауымдастырылған профессор; «Беттік инженерия және трибология» ғылыми зерттеу орталығының жетекші ғылыми қызметкері; Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: sagdoldina@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>.

#### Information about the authors

**Nikolay Aleksandrovich Demin\*** – deputy head of the territorial department of the atomic and energy supervision and control committee of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan for the Abay region, Republic of Kazakhstan; e-mail: step112011@mail.ru@mail.ru.

**Angel Terziev** – PhD, Professor; Dean Faculty of Power Engineering and Power Machines; Sofia Technical University, Republic of Bulgaria; e-mail: aterziev@tu-sofia.bg. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1666-2781>.

Saule Kianbekovna Abildinova – PhD, Associate Professor, Department of «Management and Entrepreneurship in Engineering»; Almaty University of Power Engineering and Telecommunication named Gumarbek Daukeev, Republic of Kazakhstan; e-mail: saule18kz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9502-6208>.



**Saule Nurtazaevna Kamarova** – PhD, Head of Department «Energy»; Karaganda Industrial University, Kazakhstan Republic; e-mail: s.kamarova@ttu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8464-7204>.

**Zhuldyz Bolatkyzy Sagdoldina** – PhD, Associate Professor; Leading Researcher, Research Centre «Surface Engineering and Tribology»; Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan; e-mail: sagdoldina@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6421-2000>.

Поступила в редакцию 08.08.2024  
Поступила после доработки 10.09.2024  
Принята к публикации 16.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-35](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-35)



MPHTI: 44.31.41

**Д.Н. Нурғалиев\***, **А.Е. Сатыбалдинова<sup>1</sup>**, **А.Б. Леонидова<sup>1</sup>**, **О.Қ. Құлмаханбет<sup>1</sup>**,  
**С.Л. Елистратов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки 20 А  
<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
Россия, Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20  
\*e-mail: daniarsemei@mail.ru

## **АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА СТЕНД-ТРЕНАЖЕРЕ «ХОЛОДИЛЬНИК-2»**

**Аннотация:** В данной работе проведены детальные экспериментальные исследования, направленные на испытание рабочих режимов холодильной установки «Холодильник-2» модели СТХ 02.00.01. Целью исследования было не только продемонстрировать функционирование двухкамерного компрессионного холодильника, но и решить ряд образовательных задач. Эти задачи включали изучение технологических операций, имитацию различных неисправностей, а также регистрацию и анализ данных о хладагенте, что позволяет глубже понять работу системы в разных условиях.

В ходе исследования основное внимание было сосредоточено на моделировании различных неисправностей и оценке их воздействия на работу установки. В качестве части анализа была построена диаграмма давления-энтальпия ( $i$ - $P$ ) с использованием специализированной программы CoolPack. Эти данные также были визуализированы в Microsoft Excel для более наглядного представления и удобства анализа.

Результаты исследования продемонстрировали, что установка функционирует стабильно в номинальном режиме, периодически переходя в стационарное состояние и вновь активируясь через определенные промежутки времени. Такой режим работы свидетельствует о надежности и согласованности функционирования холодильной установки, что подтверждается как полученными диаграммами, так и анализом данных. Эти результаты подчеркивают эффективность предложенных методов диагностики и устранения неисправностей, а также обеспечивают основу для дальнейших исследований и оптимизации работы оборудования.

**Ключевые слова:** холодильная установка, неисправность, программа CoolPack, диаграмма, экспериментальные работы.

Экспериментальные исследования по испытанию рабочих режимов проводились на установке «Холодильник-2» СТХ 02.00.01 (рис. 1) в лаборатории энергетических систем НАО «Университета Шакарима города Семей». Установка «Холодильник-2» работает по принципу компрессионного охлаждения и представляет собой современное решение для управления температурными режимами.

Актуальность данного исследования обусловлена возрастающими требованиями к энергоэффективности и надежности холодильного оборудования. В условиях изменения климата и роста потребностей в хранении продуктов с различными температурными

режимами, важность точного контроля температуры и оптимизации рабочих режимов возрастает. Установка «Холодильник-2» оснащена двумя независимыми отделениями: верхней морозильной камерой, предназначенной для хранения продуктов при температуре ниже 0°C, и нижней холодильной камерой, обеспечивающей более высокие температуры, но все еще поддерживающей условия, предотвращающие замораживание.

Такая конструкция позволяет адаптировать температурные режимы под специфические требования хранения различных продуктов, что способствует улучшению качества и увеличению срока их сохранности. Эффективное управление температурными режимами, предлагаемое установкой «Холодильник-2», соответствует современным требованиям к энергоэффективности и может служить примером для дальнейших разработок и улучшений в области холодильной техники [1].

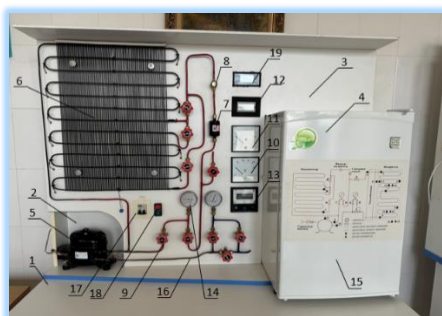


Рисунок 1 – Общий вид стенда-тренажера «Холодильник – 2»

1 – стол рабочий; 2 – стойка; 3 – панель; 4 – шкаф с испарителем; 5 – мотор-компрессор; 6 – конденсатор; 7 – фильтр-осушитель; 8 – стекло смотровое; 9 – вентили; 10 – вольтметр; 11 – амперметр; 12 – счетчик электрический; 13 – измеритель температуры; 14 – манометр; 15 – датчик-реле температуры; 16 – трубопроводы; 17 – устройство защитного отключения; 18 – кнопки; 19 – многофункциональный измерительный прибор

Стенд-тренажер «Холодильник-2» предназначен для демонстрации работы бытового двухкамерного компрессионного холодильника и решения ряда образовательных задач, таких как:

- изучение технологических операций;
- имитация и диагностика неисправностей;
- регистрация данных о хладагенте.

Этот стенд-тренажер служит важным инструментом для образовательного процесса, предоставляя практическое понимание работы холодильных систем и их обслуживания.

В нашей работе было необходимо смоделировать работу холодильника в условиях различных неисправностей. Это включало:

- создание сценариев неисправностей;
- анализ влияния неисправностей;
- оценка методов диагностики и устранения [2].

Таким образом, наша работа позволила глубже понять не только функционирование холодильника при номинальных условиях, но и его поведение при различных дефектах, что является важным для подготовки квалифицированных специалистов в области холодильной техники.

В связи с этим, на стенд-тренажере «Холодильник-2» были проведены экспериментальные работы в номинальном режиме. Так же дальнейшие исследования пройдут и на других режимах при различных неисправностях.

Как уже упоминалось, для всех экспериментальных исследований использовались одни и те же начальные параметры. Это было сделано с целью обеспечения сравнимости и повторяемости результатов.

В частности, начальные параметры включали:

- температура окружающей среды (постоянное значение температуры в помещении, где проводились эксперименты, что исключало влияние внешних температурных колебаний на результаты);
- настройки оборудования (установленные значения для работы компрессора, термостата и других ключевых элементов системы, чтобы обеспечить стабильность условий испытаний);

– концентрация и тип хладагента (использование одного и того же типа хладагента в неизменном количестве для обеспечения идентичных условий работы холодильной системы);

– состояние нагрузки (однородное распределение нагрузки на холодильник, чтобы изменения в работе системы были вызваны только имитацией неисправностей, а не изменением внешних факторов).

Такой подход позволил минимизировать влияние случайных факторов и сосредоточиться на анализе результатов, полученных в условиях моделируемых неисправностей [3, 4]. Это обеспечило более точное и надежное исследование работы холодильника и эффективность предложенных методов диагностики и устранения неисправностей. Теперь мы можем перейти к экспериментальной работе, в которой будут использованы следующие исходные данные для проведения экспериментов:

- холодопроизводительность  $Q_0$ , 130 Вт
- температура, К:
  - Кипения  $T_0$  (точка а)
  - Конденсации  $T_k$  (точка 3)
- рабочее вещество – R134a

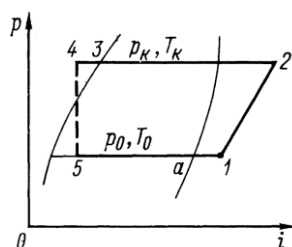


Рисунок 2 – Схема и цикл регенеративной паровой холодильной машины

Из полученных экспериментальных данных, были определены параметры узловых точек с интервалом в 5 минут. Для наглядности, параметры одного из узлов на 30-й минуте представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры узловых точек (30 минута)

параметры	Точка а	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5
Р, кПа	120	120	1050	1050	1050	120
Т, 0С	-21,5	25,5	45,5	41	18	-21
i, кДж/кг	384	425	432	265	224	224
v, м3/кг	0,16	0,2	0,019	-	-	0.04

Удельная массовая холодопроизводительность

$$q_0 = i_a - i_5 \quad (1)$$

Принимается  $T_1 - T_a$

Состояние рабочего вещества в точке 4 определяется из баланса теплообменника (I)

$$i_1 - i_a = i_3 - i_4, \text{ откуда } i_4 = i_3 - (i_1 - i_a).$$

Удельная объемная холодопроизводительность  $q_v = q_0/v_1$ . Теплота, отводимая от конденсатора,  $q_k = i_2 - i_3$ . Удельная изэнтропная работа цикла  $l_s = i_2 - i_1$ . Холодильный коэффициент теоретический  $\varepsilon_T = q_0/l_s$ . Массовый расход рабочего вещества в машине  $G_a = Q_0/q_0$ . Изэнтропная мощность компрессора  $N_s = G_a l_s$ .

Действительная объемная производительность компрессора  $V_d = G_a v_1$  [5].

Ниже представлены параметры, зарегистрированные в различные моменты времени номинального режима работы ХУ.

Таблица 2 – Параметры номинального режима, относящиеся к изменениям во временных интервалах

Время	5 минута	10 минута	15 минута	20 минута	25 минута	30 минута
$q_0, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	160	166	160	156	150	147
$T_1 - T_a, ^\circ\text{C}$	47	47,5	44	40,5	33,5	30
$i_4, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	224	218	224	227	233	236
$q_v, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$	800	874	888,9	821,1	789,5	773,7
$q_k, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	167	169	174	180	181	180
$l_s, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	7	9	14	24	31	33
$\varepsilon_T$	22,9	18,4	11,4	6,5	4,8	4,5
$G_a, 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{с}}$	0,81	0,78	0,81	0,83	0,87	0,88
$N_s, 10^{-3} \text{Вт}$	5,7	7	11,4	20	26,9	29,1
$V_D, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	0,16	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17

На основе полученных данных была построена диаграмма  $i-P$  с использованием программы CoolPack [6, 7]. Результаты построения представлены на рисунке 3.

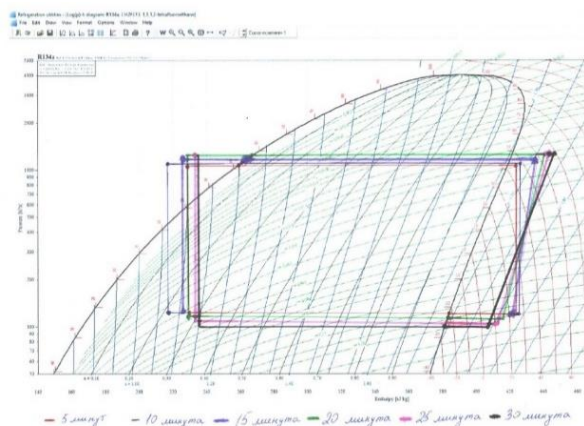


Рисунок 3 – Параметры  $i-P$  диаграммы номинального режима с помощью программы CoolPack

Для наглядности те же параметры были отображены с помощью программы Microsoft Excel (рис. 4).

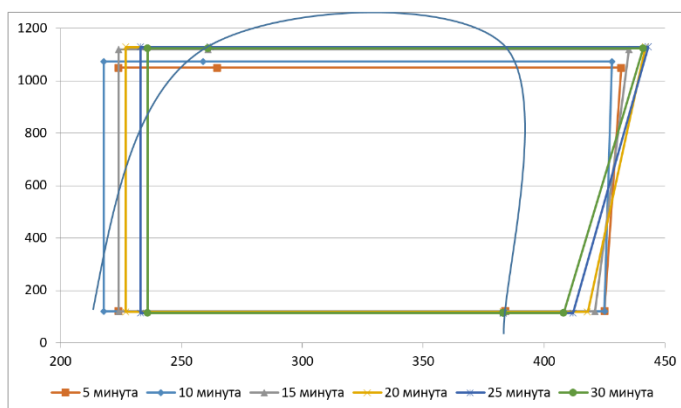


Рисунок 4 – Параметры  $i-P$  диаграммы номинального режима с помощью программы Microsoft Excel

Из полученных данных на рисунке 5 можно четко увидеть изменение параметров цикла номинального режима в ХУ по истечению времени.

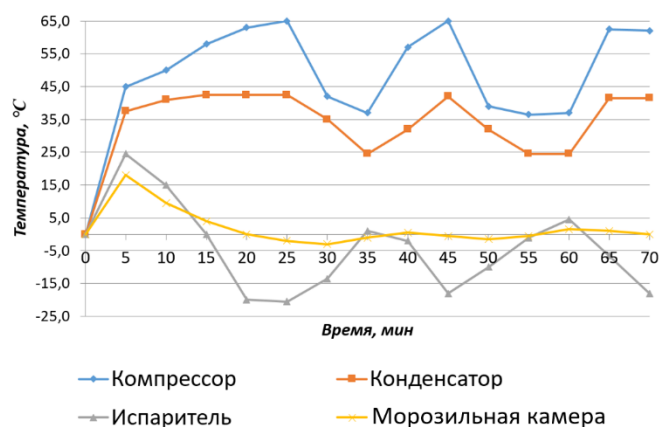


Рисунок 5 – Параметры цикла номинального режима по изменения времени

После тщательного изучения работ различных ученых [8-10] можно провести детальный анализ имеющихся данных и осуществить собственные экспериментальные исследования. Эти эксперименты будут сосредоточены на различных режимах неисправностей, что позволит глубже понять их поведение и влияние на систему.

**Заключение.** Холодильная установка функционировала в идеальном номинальном режиме в соответствии с указанными параметрами, что свидетельствует о стабильной и периодичной работе системы. После включения установки, она достигла стационарного режима на 25-й минуте. Затем, спустя 15 минут, система снова активировалась и работала ещё 15 минут, после чего вновь вошла в стационарный режим. Этот цикл повторялся периодически, демонстрируя надежность и согласованность работы холодильной установки.

Так же по этому сценарию будут проводиться дальнейшие экспериментальные исследования при различных неисправностях в системе ХУ, анализ влияния неисправностей. Будет исследовано, как каждая из этих неисправностей влияет на работу устройства, оценим изменения в температурных режимах и производительности холодильника.

### Список литературы

1. Руководство по эксплуатации. Стенд-тренажер «Холодильник – 2» модель СТХ 02.00.01 / Южно-Уральский государственный университет. ООО научно-производственное предприятие «Учебная техника – ПРОФИ» // Челябинск, 2011. – С. 3-7.
2. Тоңазытқыштың ақау жағдайында жұмыс істеу принципі / Д.Н. Нурғалиев т.б. // ҚР ҰЯО жаршысы. – 2023. – № 1.
3. Кретова М.А. Оценка эффективности работы теплового насоса / М.А. Кретова, Ю.К. Разумова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017.
4. Манзарханова Л.М. Расчет потерь эксергии, вызванные течением жидкостей через местные гидравлические сопротивления / Л.М. Манзарханова // Избранные доклады 62-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых Томский государственный архитектурно-строительный университет. – 2016.
5. Кошкин Н.Н. Холодильные машины / Н.Н. Кошкин, И.А. Сакун, Е.М. Бамбушек. – Ленинград: Машиностроение, 1985. – 510 с.
6. Генеральченко Д.С. Сравнительный анализ вариантов замены хладагента в холодильной системе братского пивоваренного завода / Д.С. Генеральченко, А.А. Федяев // В мире научных открытий. – 2010. – № 3-3(9).
7. Рачковский Н.О. Исследование имитационной модели воздушного отопления на базе энергетической установки – парокomppressorного теплового насоса с участием компонента гидросферы / Н.О. Рачковский, Ю.В. Татаренко // Вестник Иркутского Государственного технического университета. – 2017. – № 7(126).
8. Плешков А.Ю. Анализ основных неисправностей при эксплуатации компрессорного блока системы холодоснабжения / А.Ю. Плешков, О.А. Голубева // Наука и инновации в Арктике. – 2024.
9. Анализ неисправностей и отказов компрессоров холодильного оборудования / И.В. Капустин и др. // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК, сборник

научных статей инженерно-технологического факультета по материалам 88-й научно-практической конференции «Аграрная наука – Северо-Кавказскому Федеральному округу». Цифровые агрорешения. Ставропольский государственный аграрный университет. – 2023.

10. Тарасова В.А. Расчетно-экспериментальное исследование термодинамической эффективности тепловых насосов / В.А. Тарасова // Проблемы машиностроения, Учредители: Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного Национальной академии наук Украины. – 2016. – № 1.

### References

1. Rukovodstvo po ehkspluatatsii. Stend-trenazher «Kholodil'nik – 2» model' STKH 02.00.01 / Yuzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet. OOO nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Uchebnaya tekhnika – PROFI» // Chelyabinsk – 2011. – S. 3-7. (In Russian).
2. Tonazytkyshtyn akau zhagdaiynda zhymys isteu printsipi / D.N. Nurgaliev t.b. // KR YYAO zharshysy. – 2023. – № 1. (In Kazakh).
3. Kretova M.A. Otsenka ehffektivnosti raboty teplovogo nasosa / M.A. Kretova, YU.K. Razumova // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shukhova. – 2017. (In Russian).
4. Manzarkhanova L.M. Raschet poter' ehksergii, vyzvannye techeniem zhidkosti cherez mestnye gidravlicheskie soprotivleniya / L.M. Manzarkhanova // Izbrannye doklady 62-i universitetskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh Tomskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet. – 2016. (In Russian).
5. Koshkin N.N. Kholodil'nye mashiny / N.N. Koshkin, I.A. Sakun, E.M. Bambushek; Leningrad: Mashinostroenie, 1985. – 510 s. (In Russian).
6. General'chenko D.S. Sravnitel'nyi analiz variantov zameny khladagenta v kholodil'noi sisteme bratskogo pivovarennoogo zavoda / D.S. General'chenko, A.A. Fedyaev // V mire nauchnykh otkrytii. – 2010. – № 3-3(9). (In Russian).
7. Rachkovskii N.O. Issledovanie imitatsionnoi modeli vozdušnogo otopleniya na baze ehnergeticheskoi ustanovki – parokompessornogo teplovogo nasosa s uchastiem komponenta gidrosfery / N.O. Rachkovskii, YU.V. Tatarenko // Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2017. – № 7(126). (In Russian).
8. Pleshkov A.YU. Analiz osnovnykh neispravnostei pri ehkspluatatsii kompressorного блока системы kholodosnabzheniya / A.YU. Pleshkov, O.A. Golubeva // Nauka i innovatsii v Arktike. – 2024. (In Russian).
9. Analiz neispravnostei i otkazov kompressorov kholodil'nogo oborudovaniya / I.V. Kapustin i dr. // Aktual'nye problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK, sbornik nauchnykh statei inzhenerno-tehnologicheskogo fakul'teta po materialam 88-i nauchno-prakticheskoi konferentsii «Agrarnaya nauka – Severo-Kavkazskomu Federal'nomu okrugU». Tsifrovye agroresheniya. Stavropol'skii gosudarstvennyi agrarnyi universitet. – 2023. (In Russian).
10. Tarasova V.A. Raschetno-ehksperimental'noe issledovanie termodinamicheskoi ehffektivnosti teplovykh nasosov / V.A. Tarasova // Problemy mashinostroeniya, Uchrediteli: Institut problem mashinostroeniya im. A.N. Podgornogo Natsional'noi akademii nauk Ukrainy. – 2016. – № 1. (In Russian).

**Д.Н. Нурғалиев\***, **А.Е. Сатыбалдинова<sup>1</sup>**, **А.Б. Леонидова<sup>1</sup>**, **О.Қ. Құлмаханбет<sup>1</sup>**,  
**С.Л. Елистратов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

<sup>2</sup>Новосібір мемлекеттік техникалық университеті  
Ресей, Новосибирск, проспект Карла Маркса, 20

\*e-mail: danirsemei@mail.ru

### **«ТОҢАЗЫТҚЫШ-2» СТЕНД-ТРЕНАЖЕРЫНДА ТОҢАЗЫТҚЫШ ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ ЖҰМЫСЫН САРАПТАУ ЖӘНЕ МОДЕЛЬДЕУ**

*Бұл жұмыста СТХ 02.00.01 үлгісіндегі «Тоңазытқыш-2» тоңазытқыш қондырғысының жұмыс режимдерін сынауға бағытталған егжей-тегжейлі эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Зерттеудің мақсаты екі камералы сығымдау тоңазытқышының жұмыс істеуін көрсету ғана емес, сонымен қатар бірқатар тәрбиелік міндеттерді шешу болды. Бұл міндеттер процесс*

операцияларын зерттеуді, түрлі ақаулықтарды имитациялауды, сондай-ақ жүйенің әртүрлі жағдайларда қалай жұмыс істейтінін тереңірек түсіну үшін тоңазытқыштың деректерін жазуды және талдауды қамтыды.

Зерттеу барысында әр түрлі ақаулықтарды модельдеуге және олардың зауытқа әсерін бағалауға баса назар аударылды. Талдау шеңберінде CoolPack мамандандырылған бағдарламасын пайдалана отырып, қысым-энтальпия ( $i$ - $P$ ) диаграммасы салынды. Сондай-ақ, бұл деректер қосымша көрнекі көрсету және оңай талдау үшін Microsoft Excel бағдарламасында көрнекіленді.

Зерттеу нәтижелері агрегаттың тұрақты режимде тұрақты жұмыс істейтінін, тұрақты күйге мезгіл-мезгіл ауысып, белгілі бір интервалмен қайта белсендіретінін көрсетті. Мұндай жұмыс режимі тоңазытқыш қондырғы жұмысының сенімділігі мен дәйектілігін көрсетеді, бұл алынған схемалармен де, деректерді талдаумен де расталады. Бұл нәтижелер диагностикалау мен ақауларды жоюдың ұсынылған әдістерінің тиімділігін көрсетеді, сондай-ақ одан әрі зерттеулер жүргізу және жабдықтардың жұмыс қабілеттілігін оңтайландыру үшін негіз болады.

**Түйін сөздер:** тоңазыту агрегаты, ақаулықтар, CoolPack бағдарламасы, диаграмма, эксперименттік жұмыстар.

**D. Nurgaliyev<sup>\*</sup>, A. Satybaldinova<sup>1</sup>, A. Leonidova<sup>1</sup>, O. Kulmahanbet<sup>1</sup>, S. Elistratov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street

<sup>2</sup>Novosibirsk State Technical University  
Russia, Novosibirsk, Karl Marx Avenue, 20

\*e-mail: daniarsemei@mail.ru

## **ANALYSIS AND SIMULATION OF REFRIGERATION UNIT OPERATION ON THE REFRIGERATOR-2 BENCH SIMULATOR**

*In this work, detailed experimental studies were carried out aimed at testing the operating modes of the refrigeration unit "Refrigerator-2" model STX 02.00.01. The purpose of the study was not only to demonstrate the functioning of a two-chamber compression refrigerator, but also to solve a number of educational problems. These tasks included examining process operations, simulating various faults, and recording and analyzing refrigerant data to gain a deeper understanding of how the system performs under different conditions.*

*The study focused on simulating various faults and assessing their impact on the plant. As part of the analysis, a pressure-enthalpy ( $i$ - $P$ ) diagram was constructed using the specialized CoolPack program. This data has also been visualized in Microsoft Excel for more visual representation and easy analysis.*

*The results of the study demonstrated that the unit operates stably in nominal mode, periodically switching to a stationary state and reactivating at certain intervals. Such a mode of operation indicates the reliability and consistency of the functioning of the refrigeration unit, which is confirmed by both the obtained diagrams and data analysis. These results highlight the effectiveness of the proposed diagnostic and troubleshooting methods, and provide a basis for further research and optimization of equipment performance.*

**Key words:** refrigeration unit, malfunction, CoolPack program, diagram, experimental work.

### **Сведения об авторах**

**Данияр Нуржанович Нурғалиев<sup>\*</sup>** – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: daniarsemei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1650-1077>.

**Айгерим Еркеновна Сатыбалдинова** – магистр технических наук, преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: aigerimsemei@mail.ru.

**Айым Бауыржанқызы Леонидова** – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: aiym.leonidova@mail.ru.

**Оңдасын Құрасбекұлы Құлмаханбет** – студент 4 курса специальности «Техническая физика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: ongassyn@list.ru.

**Сергей Львович Елистратов** – доктор технических наук, доцент кафедры «Тепловых электрических станций», Россия; e-mail: elistratov@corp.nstu.ru.

### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Данияр Нуржанович Нурғалиев<sup>\*</sup>** – техника ғылымдарының магистрі, «Техникалық физика және жылу энергетика» кафедрасының аға оқытушысы; Қазақстан Республикасы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті; e-mail: daniarsemei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1650-1077>.

**Айгерим Еркеновна Сатыбалдинова** – техникалық ғылымдар магистрі, «Техникалық физика және жылу энергетика» кафедрасының оқытушысы; Қазақстан Республикасы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті; e-mail: aigerimsemei@mail.ru.

**Айым Бауыржанқызы Леонидова** – техника ғылымдарының магистрі, «Техникалық физика және жылу энергетика» кафедрасының аға оқытушысы; Қазақстан Республикасы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті; e-mail: aiym.leonidova@mail.ru.

**Оңдасын Қорасбекұлы Құлмаханбет** – «Техникалық физика» мамандығы бойынша 4-ші курс студенті; Қазақстан Республикасы, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті; e-mail: ongdassyn@list.ru.

**Сергей Львович Елистратов** – техника ғылымдарының докторы, Ресей, «Жылу электр станциялары» кафедрасының доценті; e-mail: elistratov@corp.nstu.ru.

#### Information about the authors

**Daniyar Nurgaliev\*** – Master of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Technical Physics and Heat Power Engineering; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: daniarsemei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1650-1077>.

**Aigerim Satybalidinova** – Master of Technical Sciences, Lecturer of the Department of Technical Physics and Heat Power Engineering; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: aigerimsemei@mail.ru.

**Aiym Leonidova** – Master of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Technical Physics and Heat Power Engineering; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: aiym.leonidova@mail.ru.

**Ondasyn Kulmakhanbet** – 4th year student of the specialty «Technical Physics»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: ongdassyn@list.ru.

**Sergey Elistratov** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal Power Plants, Russia; e-mail: elistratov@corp.nstu.ru.

Поступила в редакцию 03.09.2024  
Поступила после доработки 13.09.2024  
Принята к публикации 16.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-36](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-36)



МРНТИ: 44.31.31

**Т.Н. Умыржан<sup>1\*</sup>, Н.Н. Умыржан<sup>1</sup>, Ж.К. Алдажуманов<sup>1</sup>, Н.А. Демин<sup>2</sup>, С.Л. Елистратов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Территориальный департамент Комитета Атомного и энергетического надзора и контроля

Министерства энергетики Республики Казахстан по области Абай,

071400, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Лукпана Утепбаева, д.4

<sup>3</sup>Новосибирский государственный технический университет,

630073, Российская Федерация, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, корпус 1, ком.10

\*e-mail: timirlan-95@mail.ru

## РЕЦИРКУЛЯЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ

**Аннотация:** В данной работе проведено исследование влияния рециркуляции дымовых газов на ключевые параметры процесса сгорания топлива, такие как тепловое выделение и адиабатическая температура горения. На основе математической обработки экспериментальных данных были получены уравнения, отражающие зависимость полезного тепловыделения и адиабатической температуры горения от коэффициента рециркуляции газов. Согласно результатам исследования, полезное тепловыделение в топочной камере увеличивается пропорционально росту коэффициента рециркуляции. Это указывает на то, что повышение уровня рециркуляции способствует увеличению тепловой эффективности сгорания, улучшая теплообменные процессы внутри топочной камеры.



Аналогичная тенденция наблюдается и для адиабатической температуры горения. Установлено, что адиабатическая температура горения также возрастает с увеличением коэффициента рециркуляции, что свидетельствует о значительном влиянии рециркуляции на повышение температурных показателей в процессе горения. Повышение температуры горения связано с улучшением сжигания топлива и более полным использованием его энергетического потенциала. Это, в свою очередь, может способствовать снижению выбросов вредных веществ, таких как оксиды азота и углерода, что является важным фактором для экологической безопасности.

Таким образом, результаты исследования демонстрируют, что рециркуляция дымовых газов оказывает существенное влияние на процессы теплообмена и температуру сгорания. Это делает рециркуляцию эффективным инструментом для повышения тепловой эффективности и снижения экологической нагрузки на окружающую среду. Применение данного метода в современных энергосистемах способствует не только улучшению производственных показателей, но и выполнению экологических требований. Результаты исследования подтверждают целесообразность внедрения рециркуляции дымовых газов для повышения общей эффективности и экологической безопасности энергетических установок.

**Ключевые слова:** рециркуляция дымовых газов, топливо, теплообмен, полезное тепловыделение, адиабатическая температура горения, экологическая безопасность.

## **Введение**

Современные тенденции в энергетике требуют постоянного повышения эффективности работы тепловых установок и строгого соблюдения экологических стандартов. Одним из ключевых аспектов, влияющих на производительность и экологическую безопасность топочных процессов, является оптимизация теплообмена и снижение вредных выбросов. В этом контексте особое внимание уделяется методу рециркуляции дымовых газов, который зарекомендовал себя как эффективное средство регулирования параметров сгорания топлива [1-3].

Рециркуляция дымовых газов заключается в возврате части отработанных газов в топочную камеру для снижения температуры в зоне сгорания. Это приводит к уменьшению выбросов оксидов азота (NOx), которые образуются при высоких температурах, а также к улучшению теплообменных процессов в котлах. Регулирование температурного режима путем подачи дымовых газов в различные зоны топки (верхнюю или нижнюю) позволяет эффективно контролировать выходные параметры, такие как температура отходящих газов и степень перегрева пара [4-7].

Кроме того, применение рециркуляции дымовых газов способствует снижению термических напряжений на элементы котельного оборудования, что увеличивает его долговечность и снижает эксплуатационные расходы. Учитывая всё возрастающие требования к экологической безопасности и эффективности энергосистем, данный метод представляет собой важный инструмент для оптимизации топочных процессов [8-10].

### *Постановка задачи*

Цель исследования состоит в изучении и оценке различных методов рециркуляции дымовых газов в топочных камерах, применяемых при сжигании угля в энергетических котлах.

Введение дымовых газов в процесс сгорания топлива предназначено для решения множества технологических и экологических задач, таких как:

- понижение температуры выходящих газов при высоких нагрузках достигается за счёт подачи дымовых газов в верхнюю часть топочной камеры;
- контроль температуры отходящих газов и регулирование температуры перегрева пара осуществляется через введение дымовых газов в нижнюю зону топки;
- предотвращение образования оксидов азота, связанных с топливом и воздухом, обеспечивается посредством применения рециркуляции дымовых газов.

### **Результаты исследований**

В ходе проведенного анализа была изучена взаимосвязь между полезным тепловыделением в топке и адиабатической температурой горения в зависимости от коэффициента рециркуляции газов.

На основании проведенного экспериментального исследования были получены данные для построения графика, показывающего зависимость показателей от уровня рециркуляции газа (рис. 1).

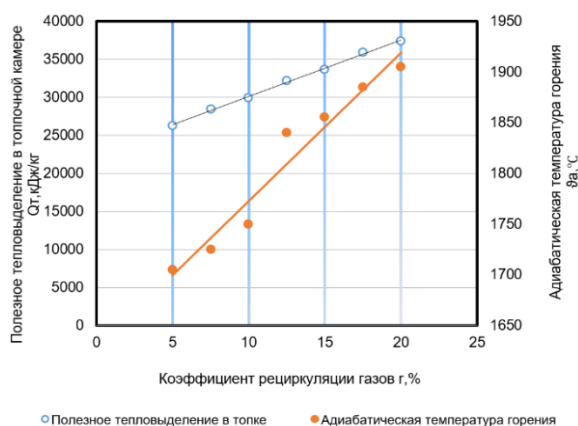


Рисунок 1 – Зависимость полезного тепловыделения в топке и адиабатической температуры горения от коэффициента рециркуляции

На основе математической обработки экспериментальных данных были получены следующие уравнения, характеризующие влияние коэффициента рециркуляции на указанные параметры:

1) изменение полезного тепловыделения в топке  $Q_T$ , выраженное в кДж/кг, в зависимости от коэффициента рециркуляции  $\gamma$  (в %), описывается уравнением:

$$Q_T = 742,5\gamma + 22678 \quad (1)$$

Согласно данному уравнению, с увеличением коэффициента рециркуляции наблюдается пропорциональное увеличение полезного тепловыделения. Это указывает на то, что повышение уровня рециркуляции газа способствует увеличению тепловой эффективности процесса сгорания.

2) изменение адиабатической температуры горения  $\theta_a$ , °С, в зависимости от коэффициента рециркуляции  $\gamma$ , %, определяется уравнением:

$$\theta_a = 14,50\gamma + 1641 \quad (2)$$

Полученное уравнение показывает, что адиабатическая температура горения также увеличивается с ростом коэффициента рециркуляции. Это свидетельствует о том, что повышение уровня рециркуляции влияет на изменение температуры горения, что может иметь значительное значение для оптимизации топочного процесса и контроля выбросов.

Эти результаты демонстрируют, что применение рециркуляции дымовых газов оказывает значительное влияние на теплообмен и температурные параметры процесса горения, что подтверждает эффективность этого метода для повышения производительности и экологической безопасности энергетических установок.

### Выводы

Рециркуляция дымовых газов существенно влияет на эффективность топочного процесса, обеспечивая пропорциональное увеличение полезного тепловыделения и рост адиабатической температуры горения с повышением коэффициента рециркуляции. Полученные результаты подтверждают, что использование рециркуляции дымовых газов оптимизирует процессы теплообмена, повышает тепловую эффективность сгорания и способствует снижению экологического воздействия. Это делает данный метод эффективным инструментом для повышения производительности и улучшения экологической безопасности энергетических установок.

### Список литературы

1. К вопросу эффективности применения рециркуляции дымовых газов в энергетических котлах, работающих на твердом топливе / Т.Н. Умыржан и др. // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: Сборник материалов VII международной научно-практической конференции, Кемерово, 07-09 декабря 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 171-1-171-5.

2. Бусыгин С.В. Моделирование процесса рециркуляции дымовых газов энергетического котла с применением комплекса программ для оценки эффективности мероприятий направленных на подавление выбросов NOx при сжигании природного газа на ТЭС / С.В. Бусыгин // Развитие методов прикладной математики для решения междисциплинарных проблем энергетики: Материалы I Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Ульяновск, 06–07 октября 2021 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2021. – С. 176-179.
3. Effects of flue gas recirculation on self-excited combustion instability and NOx emission of a premixed flame / D. Pan et al // Thermal Science and Engineering Progress. – 2022. – Т. 30. – С. 101252.
4. Junwei S. Influence of Different Flue Gas Recirculation Schemes on 1000 MW Ultra-supercritical Double Reheat Boiler / S. Junwei, D. Weibao, Y. Weiping // [J]. JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL ENERGY AND POWER. – 2019. – № 34(5). – P. 49-56.
5. Умыржан, Н.Н. Рециркуляция дымовых газов как способ эффективного регулирования топочного процесса / Н.Н. Умыржан, А.И. Мануленко, Т.Н. Умыржан // Энергия-2022. Теплоэнергетика: Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. В 6 т., Иваново, 11-13 мая 2022 года. Том 1. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2022. – С. 18.
6. Characteristics and flame appearance of oxy-fuel combustion using flue gas recirculation / M. Abdelaal et al // Fuel. – 2021. – Т. 297. – С. 120775.
7. Ahn J. Combustion characteristics of 0.5 MW class oxy-fuel FGR (flue gas recirculation) boiler for CO2 capture / J. Ahn, H.J. Kim // Energies. – 2021. – Т. 14, № 14. – С. 4333.
8. Рециркуляция дымовых газов как способ внедрения экологических технологий в энергетических котлах / Н. Умыржан и др. // Вестник КазАТК. – 2021. – Т. 119, № 4. – С. 113-120.
9. Патент № 2761254 С1 Российская Федерация, МПК F23C 13/00. Устройство рециркуляции дымовых газов: № 2021107646: заявл. 22.03.2021: опубл. 06.12.2021 / С.В. Александров.
10. Zhu Y. Combustion characteristic study with a flue gas internal and external double recirculation burner / Y. Zhu, C. Wang, X. Chen // Chemical Engineering and Processing-Process Intensification. – 2021. – Т. 162. – С. 108345.

### References

1. K voprosu ehffektivnosti primeneniya retsirkulyatsii dymovykh gazov v ehnergeticheskikh kotlakh, rabotayushchikh na tverdom toplive / T.N. Umyrzhan i dr. // Ehnergetika i ehnergoberezhenie: teoriya i praktika: Sbornik materialov vii mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Kemerovo, 07-09 dekabrya 2022 goda. – Kemerovo: Kuzbasskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2023. – S. 171-1-171-5. (In Russian).
2. Busygin, S.V. Modelirovanie protsessa retsirkulyatsii dymovykh gazov ehnergeticheskogo kotla s primeneniem kompleksa programm dlya otsenki ehffektivnosti meropriyatiy napravlennykh na podavlenie vybrosov NOx pri szhiganiy prirodnogo gaza na TEHS / S V. Busygin // Razvitie metodov prikladnoi matematiki dlya resheniya mezhdistsiplinarnykh problem ehnergetiki: Materialy I Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Ul'yanovsk, 06–07 oktyabrya 2021 goda. – Ul'yanovsk: Ul'yanovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2021. – S. 176-179. (In Russian).
3. Effects of flue gas recirculation on self-excited combustion instability and NOx emission of a premixed flame / D. Pan et al // Thermal Science and Engineering Progress. – 2022. – Т. 30. – S. 101252. (In English).
4. Junwei S. Influence of Different Flue Gas Recirculation Schemes on 1000 MW Ultra-supercritical Double Reheat Boiler / S. Junwei, D. Weibao, Y. Weiping // [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy And Power. – 2019. – № 34(5). – R. 49-56. (In English).
5. Umyrzhan, N.N. Retsirkulyatsiya dymovykh gazov kak sposob ehffektivnogo regulirovaniya topochnogo protsessa / N.N. Umyrzhan, A.I. Manulenko, T.N. Umyrzhan // Ehnergiya-2022. Teploehnergetika: Semnadtsataya vserossiiskaya (devyataya mezhdunarodnaya) nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. V 6 t., Ivanovo, 11–13 maya 2022 goda. Tom 1. – Ivanovo: Ivanovskii gosudarstvennyi ehnergeticheskii universitet im. V.I. Lenina, 2022. – S. 18. (In Russian).

6. Characteristics and flame appearance of oxy-fuel combustion using flue gas recirculation / M. Abdelaal et al // Fuel. – 2021. – Т. 297. – S. 120775. (In English).
7. Ahn J. Combustion characteristics of 0.5 MW class oxy-fuel FGR (flue gas recirculation) boiler for CO<sub>2</sub> capture / J. Ahn, H.J. Kim // Energies. – 2021. – Т. 14, № 14. – S. 4333. (In English).
8. Retsirkulyatsiya dymovykh gazov kak sposob vnedreniya ehkologicheskikh tekhnologii v ehnergeticheskikh kotlakh / N. Umyrzhan i dr. // Vestnik KazATK. – 2021. – Т. 119, № 4. – S. 113-120. (In Russian).
9. Patent № 2761254 C1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK F23C 13/00. Ustroistvo retsirkulyatsii dymovykh gazov: № 2021107646: zayavl. 22.03.2021: opubl. 06.12.2021 / S.V. Aleksandrov. (In Russian).
10. Zhu Y. Combustion characteristic study with a flue gas internal and external double recirculation burner / Y. Zhu, C. Wang, X. Chen // Chemical Engineering and Processing-Process Intensification. – 2021. – Т. 162. – S. 108345. (In English).

**Т.Н. Өміржан<sup>1\*</sup>, Н.Н. Өміржан<sup>1</sup>, Ж.К. Алдажуманов<sup>1</sup>, Н.А. Демин<sup>2</sup>, С.Л. Елистратов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

<sup>2</sup>Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігі Атом және энергетикалық қадағалау және бақылау комитетінің Абай облысы бойынша аумақтық департаменті,  
071400, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Лұқпан Өтепбаев көшесі, 4-үй

<sup>3</sup>Новосібір мемлекеттік техникалық университеті,  
630073, Ресей Федерациясы, Новосибирск қ., Маркс даңғылы, 20, 1 корпус, ком.10

\*e-mail: timirlan-95@mail.ru

#### **ТҮТІН ГАЗЫН ҚАЙТА ӨҢДЕУ ЖЫЛУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ЖӘНЕ ЭНЕРГИЯ ҚАЗАНДЫҚТАРЫНДАҒЫ ШЫҒАРЫНДЫЛАРДЫ АЗАЙТУ ТӘСІЛІ РЕТІНДЕ**

*Бұл жұмыста түтін газдарын рециркуляциялау отынның жану процесінің негізгі параметрлеріне, атап айтқанда, жылу бөлінуі мен адиабаталық жану температурасына әсері зерттелді. Эксперименттік деректерді математикалық өңдеу негізінде түтін газдарының рециркуляция коэффициентіне байланысты пайдалы жылу бөлінуі мен адиабаталық жану температурасының тәуелділігін көрсететін теңдеулер алынды. Зерттеу нәтижелеріне сәйкес, рециркуляция коэффициентінің өсуімен пештегі пайдалы жылу бөлінуі пропорционалды түрде артады. Бұл рециркуляция деңгейінің жоғарылауы жану процесінің жылу тиімділігін арттыруға, пеш ішіндегі жылу алмасу процесстерін жақсартуға ықпал ететінін көрсетеді.*

*Осындай үрдіс адиабаталық жану температурасына да тән. Адиабаталық жану температурасы рециркуляция коэффициентінің өсуімен де артады, бұл рециркуляцияның жану процесінің температуралық параметрлерін арттыруға айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Жану температурасының көтерілуі отынның жақсы жануымен және оның энергетикалық әлеуетін неғұрлым толық пайдаланумен байланысты. Бұл өз кезегінде азот оксидтері мен көміртегі сияқты зиянды заттардың шығарындыларын азайтуға ықпал етуі мүмкін, бұл экологиялық қауіпсіздік үшін маңызды фактор болып табылады.*

*Осылайша, зерттеу нәтижелері түтін газдарының рециркуляциясы жылу алмасу процесстеріне және жану температурасына айтарлықтай әсер ететінін көрсетеді. Бұл рециркуляцияны жылу тиімділігін арттыру және қоршаған ортаға әсерді азайту үшін тиімді құрал етеді. Бұл әдісті қазіргі заманғы энергетикалық жүйелерде қолдану өндірістік көрсеткіштерді жақсартуға ғана емес, сонымен қатар экологиялық талаптарды орындауға да ықпал етеді. Зерттеу нәтижелері түтін газдарын рециркуляциялауды энергетикалық қондырғылардың жалпы тиімділігін және экологиялық қауіпсіздігін арттырудың орындылығын растайды.*

**Түйін сөздер:** түтін газдарының рециркуляциясы, отын, жылу алмасу, пайдалы жылу шығару, адиабаттық жану температурасы, экологиялық қауіпсіздік.

**T.N. Umyrzhan<sup>1\*</sup>, N.N. Umyrzhan<sup>1</sup>, J.K. Aldazhumanov<sup>1</sup>, N.A. Demin<sup>2</sup>, S.L. Elistratov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,

071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A

<sup>2</sup>Territorial Department of the Committee for Atomic and Energy Supervision and Control of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan in the Abai region,

071400, Republic of Kazakhstan, Semey, Lukpan Utepbaev str., 4

<sup>3</sup>Novosibirsk State Technical University,

630073, Russian Federation, Novosibirsk, K. Marx Ave., 20, building 1, room.10

\*e-mail: timirlan-95@mail.ru

## FLUE GAS RECIRCULATION AS A WAY TO IMPROVE THERMAL EFFICIENCY AND REDUCE EMISSIONS IN POWER BOILERS

*This study investigates the impact of flue gas recirculation on key parameters of the fuel combustion process, such as heat release and adiabatic combustion temperature. Based on the mathematical processing of experimental data, equations were obtained that reflect the dependence of useful heat release and adiabatic combustion temperature on the gas recirculation coefficient. According to the results of the study, the useful heat release in the furnace increases proportionally with the growth of the recirculation coefficient. This indicates that an increase in the level of recirculation contributes to an increase in combustion thermal efficiency, improving heat exchange processes within the furnace.*

*A similar trend is observed for the adiabatic combustion temperature. It was found that the adiabatic combustion temperature also increases with an increase in the recirculation coefficient, which indicates the significant influence of recirculation on raising the temperature parameters of the combustion process. The rise in combustion temperature is associated with improved fuel combustion and more complete utilization of its energy potential. This, in turn, can contribute to a reduction in emissions of harmful substances such as nitrogen oxides and carbon, which is an important factor for environmental safety.*

*Thus, the results of the study demonstrate that flue gas recirculation has a significant impact on heat exchange processes and combustion temperature. This makes recirculation an effective tool for increasing thermal efficiency and reducing the environmental impact. The application of this method in modern energy systems not only improves production performance but also ensures compliance with environmental requirements. The study results confirm the feasibility of implementing flue gas recirculation to enhance overall efficiency and environmental safety in energy installations.*

**Key words:** flue gas recirculation, fuel, heat exchange, useful heat release, adiabatic combustion temperature, environmental safety.

### Сведения об авторах

**Темірлан Нұрланұлы Умыржан\*** – докторант образовательной программы 8D05302-«Техническая физика» кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: timirlan-95@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9111-1975>.

**Нұржан Нұрланұлы Умыржан** – магистрант кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: nurka20029568@gmail.com.

**Жан Касенович Алдажуманов** – старший преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: jean1974@mail.ru.

**Николай Александрович Демин** – заместитель руководителя территориального департамента Комитета атомного и энергетического надзора и контроля Министерства энергетики Республики Казахстан по области Абай, Республика Казахстан; e-mail: nik.dyomin87@mail.ru.

**Сергей Львович Елистратов** – доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловых электрических станций»; Новосибирский государственный технический университет, Российская Федерация; e-mail: elistratov@corp.nstu.ru.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Темірлан Нұрланұлы Умыржан\*** – «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының 8D05302 «Техникалық физика» білім беру бағдарламасының докторанты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: timirlan-95@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9111-1975>.

**Нұржан Нұрланұлы Умыржан** – «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: nurka20029568@gmail.com.

**Жан Касенович Алдажуманов** – «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының аға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: jean1974@mail.ru.

**Николай Александрович Демин** – Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігі Атомдық және энергетикалық қадағалау мен бақылау комитеті Абай облысы бойынша аумақтық департаменті басшысының орынбасары, Қазақстан Республикасы; e-mail: nik.dyomin87@mail.ru.

**Сергей Львович Елистратов** – техника ғылымдарының докторы, «Жылу электр станциялары» кафедрасының профессоры; Новосибир мемлекеттік техникалық университеті, Ресей Федерациясы; e-mail: elistratov@corp.nstu.ru.

### Information about the authors

**Temirlan Nurlanuly Umyrzhan\*** – doctoral student of the educational programme 8D05302 «Technical Physics» of the Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: timirlan-95@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9111-1975>.

**Nurzhan Nurlanuly Umyrzhan** – master's student of the Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: nurka20029568@gmail.com.

**Zhan Kasenovich Aldazhumanov** – senior lecturer, Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: jean1974@mail.ru.

**Nikolay Aleksandrovich Demin** – deputy head of the territorial department of the atomic and energy supervision and control committee of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan for the Abay region, Republic of Kazakhstan; e-mail: nik.dyomin87@mail.ru.

**Sergey Lvovich Elistratov** – doctor of technical sciences, professor of the Department of «Heat Power Plants»; Novosibirsk State Technical University, Russian Federation; e-mail: elistratov@corp.nstu.ru.

Поступила в редакцию 06.09.2024  
Поступила после доработки 19.09.2024  
Принята к публикации 20.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-37](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-37)



FTAXP: 44.31.31

**Т.Н. Умыржан<sup>1\*</sup>, Н.Н. Умыржан<sup>1</sup>, А.Н. Шалаганова<sup>1</sup>, А.С. Кузкенов<sup>2</sup>, С.Л. Елистратов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Глинки көшесі, 20 А

<sup>2</sup>«Теплокоммунэнерго» МКК,  
070000, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, Әуезов даңғылы, 111

<sup>3</sup>Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті,  
630073, Ресей Федерациясы, Новосибирск қаласы, Маркс даңғылы, 20, 1 корпус, ком.10  
\*e-mail: timirlan-95@mail.ru

### КЕУЕКТІ МЕТАЛДАРДЫҢ ЖЫЛУ АЛМАСУ АППАРАТТАРЫНДА ҚОЛДАНЫЛУ ТИІМДІЛІГІНІҢ ТАЛДАУЫ

**Аңдатпа:** Бұл зерттеуде кеуекті металдардың жылу алмасу аппараттарында қолданылу тиімділігін талдауға бағытталған, олардың жылу алмасу процестерін жақсартуға әсеріне ерекше назар аударады. Кеуекті металдар өздерінің ерекше құрылымы арқасында жоғары жылу өткізгіштікке және кеңейтілген байланыс бетіне ие, бұл жылу алмасудың тиімділігін арттырады. Зерттеу барысында кеуекті коэффициенттің жылу алмасу сипаттамаларына әсерін бағалау үшін эксперименттер мен теориялық талдаулар жүргізілді. Масса шығыны мен жылу мөлшерінің кеуекті коэффициентке тәуелділігінің графигі осы тәуелділіктердің сызықты сипатын көрсетеді. Математикалық деректерді өңдеу кеуекті коэффициенттің ұлғаюы фреонның жылу мөлшері мен массалық шығынын арттыратынын көрсетті, бұл жылу алмасудың тиімділігін арттыруды көрсетеді. Нәтижелер кеуекті металдардың жылу алмасушылардың және энергия үнемдеу көрсеткіштерінің едәуір жақсаратынын растайды. Жүргізілген зерттеу негізінде кеуекті металдарды жылу алмасу аппараттарында қолдануды әрі қарай зерттеу және енгізу ұсынылады, бұл олардың жұмысын оңтайландырып, жүйенің жалпы тиімділігін арттырады. Бұл нәтижелер кеуекті металдардың энергия және машина жасау сияқты әртүрлі салаларда қолдануға жаңа перспективаларды ашады.

**Түйін сөздер:** кеуекті металдар, жылу алмастырғыштар, жылу алмасу тиімділігі, кеуектілік коэффициенті, жылу техникасы, эксперименттік зерттеу, сызықтық тәуелділік.

## Кіріспе

Кеуекті металдардың жылу алмасу аппараттарында қолданылу тиімділігінің талдауы жылу алмасу және жылу техникалары саласында маңызды зерттеу бағыттарын білдіреді. Кеуекті металдар өздерінің ерекше құрылымы арқасында жылу алмасу процесстерін жақсартуға және жылу алмасушылардың жалпы тиімділігін арттыруға жаңа мүмкіндіктер ұсынады. Кеуекті металдар жоғары жылу-физикалық қасиеттерге ие, мысалы, жоғары жылу өткізгіштік және үлкен байланыс беті. Бұл сипаттамалар жылу алмасуды жақсартуға мүмкіндік береді, себебі металл мен жылу тасымалдағыштар арасындағы байланыс алаңы ұлғаяды, сондай-ақ конвективті жылу тасымалдау артады. Сонымен қатар, кеуекті құрылым жылу алмасушылардағы ағымдардың таралуын жақсартады, бұл жергілікті температура айырмашылықтарын төмендетіп, құрылғының жалпы жылулық теңгерімін жақсартады.

Алайда, кеуекті металдардың жылу алмасу аппараттарында қолданылу тиімділігі көптеген факторларға байланысты, мысалы, кеуекті материалдың құрылымы, кеуектердің өлшемдері, олардың таралуы және кеуекті металдың жасалған материалы. Сондай-ақ, жылу тасымалдағыштың ағыны мен жұмыс процесінің температурасы сияқты факторларды ескеру маңызды.

Кеуекті металдардың жылу алмасу аппараттарында қолданылуын оңтайландыру үшін олардың термалды және гидродинамикалық сипаттамаларын детальды зерттеу қажет. Негізгі аспектілердің бірі - кеуекті металдармен жылу алмасушылардың тиімділігін бағалау үшін модельдер мен әдістерді әзірлеу [1-5]. Мұндай модельдер жылу алмасушылардың әртүрлі жұмыс режимдеріндегі мінез-құлқын болжауға және олардың тиімділігін арттыру үшін оптималды параметрлерді таңдауға мүмкіндік береді [6,7].

Зерттеулер кеуекті металдардың жылу алмасу және энергия үнемдеу көрсеткіштерін едәуір жақсартуға қабілетті екенін көрсетеді, бұл оларды энергия, машина жасау және химия өнеркәсібі сияқты әртүрлі салаларда қолдану үшін перспективалы етеді [8-10]. Кеуекті металдарды жылу алмасушыларға енгізу энергия шығындарын азайтуға, жылу алмасушылардың өлшемдерін қысқартуға және олардың ұзақ мерзімділігін арттыруға әкелуі мүмкін.

## Мәселені қою

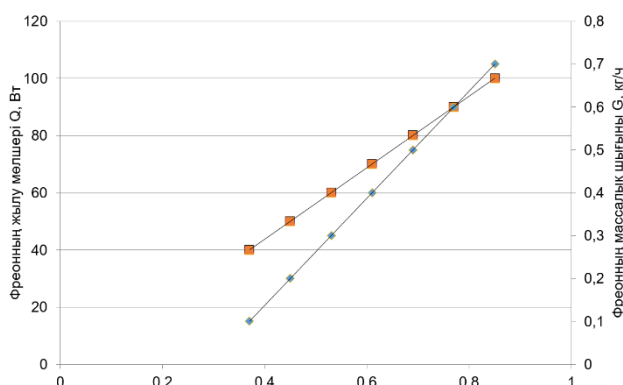
Зерттеу объектісі: Кеуекті металдар жылу алмасу аппараттарында.

Жұмыстың мақсаты: Кеуекті металдарды жылу алмасушыларда қолдануды оңтайландыру арқылы олардың тиімділігін арттыру және жылу алмасуды жақсарту.

Зерттеу әдісі: Эксперименттік және теориялық әдістер.

## Зерттеу нәтижелері

Жүргізілген экспериментке негізделіп, жылу мөлшері мен фреонның массалық шығынының кеуекті коэффициентке тәуелділігін көрсететін график салынды (сурет 1).



Сурет 1 – Жылу мөлшері мен фреонның массалық шығынының кеуекті коэффициентке тәуелділігін көрсететін график

Математикалық өңдеудің нәтижесінде алынған теңдеулер мыналар:

– Фреонның жылу мөлшерінің Q (Вт) кеуекті коэффициент р тәуелділігін сипаттайтын теңдеу:

$$Q = 125p - 6,25 \quad (1)$$

– Фреонның массалық шығынының  $G$  (кг/сағ) кеуекті коэффициент  $p$  тәуелділігін сипаттайтын теңдеу:

$$G = 1,25p - 0,362 \quad (2)$$

(1) және (2) теңдеулерін талдау жылу мөлшері мен фреонның массалық шығынының кеуекті коэффициентке тәуелділігінің сызықты сипатта екенін көрсетеді. Бұл кеуекті коэффициент пен жылу алмасудың тиімділігі арасында тікелей байланыс бар екенін білдіреді. Кеуекті коэффициенттің ұлғаюымен фреон арқылы берілетін жылу мөлшері мен фреонның массалық шығыны да артады.

Жүргізілген талдау бастапқы деректер мен кеуекті металдармен жылу алмасушылардың пайдалану шарттарын көрсетті, кеуекті металдар жылу алмасу процесстерінің тиімділігін арттыру әлеуетіне ие. Жүйелерді жобалау және пайдалану кезінде ескеру қажет негізгі параметрлер анықталды, оның ішінде ең жақсы нәтижелерге жету үшін кеуекті коэффициенттің оптималды мәндері.

### **Қорытындылар**

Зерттеу нәтижелері кеуекті металдардың жылу алмасушыларда қолданудың тиімділігін растады. Кеуекті коэффициент, жылу мөлшері мен фреонның массалық шығыны арасындағы сызықты байланыстар жылу алмасу процесстерін дәл бақылау және оңтайландыру мүмкіндігін көрсетеді. Алынған деректерге негізделі отырып, жылу алмасу жабдықтарының тиімділігін арттыру үшін кеуекті металдарды одан әрі зерттеу және енгізу ұсынылады.

### **Әдебиеттер тізімі**

1. Применение пористых материалов в теплообменных аппаратах системы теплоснабжения / Н.В. Рыдалина и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 3-13. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-3-3-13>.
2. Patent US. № 3394756. Porous plate condenser / John L., James F., Richard P. – 05.01.1976. Available at: <http://www.freepatentsonline.com/3394756.pdf> html. Accessed to: 20 avg 2019.
3. Осипов, С.Н. Энергоэффективные малогабаритные теплообменники из пористых теплопроводных материалов / С.Н. Осипов, А.В. Захаренко // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2018. – Т. 61, № 4. – С. 346-358. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-4-346-358>.
4. Степанов О.А. Использование пористых металлов для повышения эффективности теплообменных аппаратов в теплоэнергетике / О.А. Степанов, Н.В. Рыдалина // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: Материалы IV Межд. научно-практич. конф., Комсомольск-на-Амуре, 16-26 февраля 2021 года / Редколлегия: С.И. Сухоруков (отв. ред.), А.С. Гудим, Н.Н. Любушкина. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – С. 147-151.
5. Рыдалина, Н.В. Экспериментальное исследование пористых металлов в теплообменниках / Н.В. Рыдалина, О.А. Степанов, Е.А. Антонова // Наука и инновации XXI века: Сб. ст. по материалам VI Всероссийской конф. молодых ученых, Сургут, 27 сентября 2019 года. Том II. – Сургут: Сургутский государственный университет, 2020. – С. 96-100.
6. Николенко К.В. Конструктивные особенности рекуперативных теплообменников на базе пористых элементов / К.В. Николенко, А.В. Николенко, В.В. Курсин // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей LXV Международной научно-практической конференции, Пенза, 15 июня 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 40-42.
7. Рыдалина Н.В. Метод расчета теплообменных аппаратов с пористыми вставками / Н.В. Рыдалина // Трансформация нефтегазового комплекса 2030: Сборник материалов X школы-семинара молодых учёных по теплофизике и механике многофазных систем, Тюмень, 23–25 мая 2023 года. – Тюмень: Тюменский государственный университет, 2023. – С. 60-61.
8. Computational study of heat transfer enhancement using porous foams with phase change materials: A comparative review / E. Hamidi et al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2023. – Т. 176. – P. 113196.
9. A critical review on phase change materials (PCM) based heat exchanger: different hybrid techniques for the enhancement / H. Togun et al // Journal of Energy Storage. – 2024. – Т. 79. – P. 109840.



10. Patel A. Heat Exchanger Materials and Coatings: Innovations for improved heat transfer and durability / A. Patel // International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). – 2023. – Т. 13. – № 9. – P. 131-42.

### References

1. Primenenie poristyykh materialov v teploobmennyykh apparatakh sistemy teplosnabzheniya / N.V. Rydalina i dr. // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy ehnergetiki. – 2020. – Т. 22, № 3. – S. 3-13. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-3-3-13>. (In Russian).
2. Patent US. № 3394756. Porous plate condenser / John L., James F., Richard P. – 05.01.1976. Available at: <http://www.freepatentsonline.com/3394756.pdf> html. Accessed to: 20 avg 2019. (In English).
3. Osipov S.N. Ehnergoehffektivnye malogabaritnye teploobmenniki iz poristyykh teploprovodnykh materialov / S.N. Osipov, A.V. Zakharenko // Ehnergetika. Izv. vyssh. ucheb. zavedenii i ehnerg. ob"edinenii SNG. – 2018. – Т. 61, № 4. – S. 346-358. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-4-346-358>. (In Russian).
4. Stepanov O.A. Ispol'zovanie poristyykh metallov dlya povysheniya ehffektivnosti teploobmennyykh apparatov v teploehnergetike / O.A. Stepanov, N.V. Rydalina // Proizvodstvennyye tekhnologii budushchego: ot sozdaniya k vnedreniyu: Materialy IV Mezhd. nauchno-praktich. konf., Komsomol'sk-na-Amure, 16-26 fevralya 2021 goda / Redkollegiya: S.I. Sukhorukov (otv. red.), A.S. Gudim, N.N. Lyubushkina. – Komsomol'sk-na-Amure: Komsomol'skii-na-Amure gosudarstvennyi universitet, 2021. – S. 147-151. (In Russian).
5. Rydalina N.V. Ehksperimental'noe issledovanie poristyykh metallov v teploobmennikakh / N.V. Rydalina, O.A. Stepanov, E.A. Antonova // Nauka i innovatsii XXI veka: Sb. st. po materialam VI Vserossiiskoi konf. molodykh uchenykh, Surgut, 27 sentyabrya 2019 goda. Tom II. – Surgut: Surgutskii gosudarstvennyi universitet, 2020. – S. 96-100. (In Russian).
6. Nikolenko K.V. Konstruktivnye osobennosti rekuperativnykh teploobmennikov na baze poristyykh ehlementov / K.V. Nikolenko, A.V. Nikolenko, V.V. Kursin // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sbornik statei LXV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Penza, 15 iyunya 2023 goda. – Penza: Nauka i Prosveshchenie (IP Gulyaev G.YU.), 2023. – S. 40-42. (In Russian).
7. Rydalina N.V. Metod rascheta teploobmennyykh apparatov s poristymi vstavkami / N.V. Rydalina // Transformatsiya neftegazovogo kompleksa 2030: Sbornik materialov X shkoly-seminara molodykh uchenykh po teplofizike i mekhanike mnogofaznykh sistem, Tyumen', 23-25 maya 2023 goda. – Tyumen': Tyumenskii gosudarstvennyi universitet, 2023. – S. 60-61. (In Russian).
8. Computational study of heat transfer enhancement using porous foams with phase change materials: A comparative review / E. Hamidi et al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2023. – Т. 176. – R. 113196. (In English).
9. A critical review on phase change materials (PCM) based heat exchanger: different hybrid techniques for the enhancement / H. Togun et al // Journal of Energy Storage. – 2024. – Т. 79. – R. 109840. (In English).
10. Patel A. Heat Exchanger Materials and Coatings: Innovations for improved heat transfer and durability / A. Patel // International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA). – 2023. – Т. 13. – № 9. – R. 131-42. (In English).

**Т.Н. Умыржан<sup>1\*</sup>, Н.Н. Умыржан<sup>1</sup>, А.Н. Шалаганова<sup>1</sup>, А.С. Кузкенов<sup>2</sup>, С.Л. Елистратов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима г. Семей,

071412, Республика Казахстан, город Семей, улица Глинки, 20 А

<sup>2</sup>ГКП «Теплокоммунэнерго»,

070000, Республика Казахстан, город Семей, проспект Ауэзова, 111

<sup>3</sup>Новосибирский государственный технический университет,

630073, Российская Федерация, г. Новосибирск, Проспект Маркса, 20, корпус 1, ком.10

\*e-mail: timirlan-95@mail.ru

### **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРИСТЫХ МЕТАЛЛОВ В ТЕПЛОБМЕННЫХ АППАРАТАХ**

*Данное исследование фокусируется на анализе эффективности использования пористых металлов в теплообменных аппаратах, акцентируя внимание на их влиянии на улучшение теплообменных процессов. Пористые металлы, благодаря своей уникальной структуре, обладают*

высокой теплопроводностью и увеличенной поверхностью контакта, что способствует более эффективному теплообмену. В рамках исследования были проведены эксперименты и теоретические анализы для оценки влияния коэффициента пористости на теплообменные характеристики. Построенный график зависимости массового расхода фреона и количества теплоты от коэффициента пористости демонстрируют линейный характер этих зависимостей. Математическая обработка данных показала, что увеличение коэффициента пористости приводит к росту как количества теплоты, передаваемой фреоном, так и массового расхода фреона, что свидетельствует о повышении эффективности теплообмена. Результаты подтвердили, что пористые металлы могут значительно улучшить показатели теплообменников и энергосбережения. На основании проведенного исследования рекомендуется дальнейшее изучение и внедрение пористых металлов в теплообменные аппараты для оптимизации их работы и повышения общей эффективности системы. Эти результаты открывают новые перспективы для применения пористых металлов в различных отраслях, включая энергетику и машиностроение.

**Ключевые слова:** пористые металлы, теплообменные аппараты, эффективность теплообмена, коэффициент пористости, теплотехника, экспериментальное исследование, линейная зависимость.

**T.N. Umyrzhan<sup>1\*</sup>, N.N. Umyrzhan<sup>1</sup>, A.N. Shalaganov<sup>1</sup>, A.S. Kuzkenov<sup>2</sup>, S.L. Elistratov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Samey,

071412, Republic of Kazakhstan, Semey city, Glinka Street, 20 A

<sup>2</sup>GKP «Теплокоммуэнерго»,

070000, Republic of Kazakhstan, Semey city, Auezov Avenue, 111

<sup>3</sup>Novosibirsk State Technical University,

630073, Novosibirsk, Russian Federation, 20 Marx Avenue, building 1, room.10

\*e-mail: timirlan-95@mail.ru

## **ANALYSING THE EFFICIENCY OF USING POROUS METALS IN HEAT EXCHANGERS**

*This study focuses on analysing the effectiveness of porous metals in heat exchangers, focusing on their effect on improving heat transfer processes. Porous metals, due to their unique structure, have high thermal conductivity and increased contact surface area, which contributes to more efficient heat transfer. As part of the study, experiments and theoretical analyses were carried out to evaluate the effect of porosity coefficient on heat exchange performance. The plotted dependence of Freon mass flow rate and heat quantity on porosity coefficient demonstrate the linear nature of these dependencies. Mathematical processing of the data showed that an increase in the porosity coefficient leads to an increase in both the amount of heat transferred by Freon and Freon mass flow rate, indicating an increase in heat exchange efficiency. The results confirmed that porous metals can significantly improve the performance of heat exchangers and energy saving. Based on the study, further investigation and implementation of porous metals in heat exchangers is recommended to optimise their performance and improve the overall system efficiency. These results open new perspectives for the application of porous metals in various industries including power and mechanical engineering.*

**Key words:** porous metals, heat exchangers, heat transfer efficiency, porosity coefficient, heat engineering, experimental study, linear dependence.

### **Сведения об авторах**

**Темірлан Нұрланұлы Умыржан\*** – докторант образовательной программы 8D05302-«Техническая физика» кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: timirlan-95@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9111-1975>.

**Нұржан Нұрланұлы Умыржан** – магистрант кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: nurka20029568@gmail.com.

**Алмагуль Ныгметовна Шалаганова** – старший преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: shalaganova\_alma@mail.ru.

**Алмас Салакиденович Кузкенов** – начальник ТЭЦ-1; ГКП «Теплокоммуэнерго» города Семей, Республика Казахстан; e-mail: spelar@mail.ru.

**Сергей Львович Елистратов** – доктор технических наук, профессор кафедры «Тепловых электрических станций»; Новосибирский государственный технический университет, Российская Федерация; e-mail: elistratov@corp.nstu.ru.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Темірлан Нұрланұлы Умыржан\*** – «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының 8D05302-«Техникалық физика» білім беру бағдарламасының докторанты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: timirlan-95@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9111-1975>.

**Нұржан Нұрланұлы Умыржан** – «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: nurka20029568@gmail.com.

**Алмагуль Ныгметовна Шалаганова** – «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының аға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: shalaganova\_alma@mail.ru.

**Алмас Салакиденович Кузкенов** – ЖЭО-1 басшысы; Семей қаласының «Теплокоммунэнерго» МКҚ, Қазақстан Республикасы; e-mail: spelar@mail.ru.

**Сергей Львович Елистратов** – техника ғылымдарының докторы, «Жылу электр станциялары» кафедрасының профессоры; Новосибир мемлекеттік техникалық университеті, Ресей Федерациясы; e-mail: elistratov@corp.nstu.ru.

### Information about the authors

**Temirlan Nurlanuly Umyrzhan\*** – doctoral student of the educational programme 8D05302-«Technical Physics» of the Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: timirlan-95@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9111-1975>.

**Nurzhan Nurlanuly Umyrzhan** – master's student of the Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: nurka20029568@gmail.com

**Almagul Nygmetovna Shalaganova** – senior lecturer, Department of «Technical Physics and Heat Power Engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: shalaganova\_alma@mail.ru

**Almas Salakidenovich Kuzkenov** – head of CHPP-1; State Enterprise Teplocommunenergo of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: spelar@mail.ru

**Sergey Lvovich Elistratov** – doctor of technical sciences, professor of the Department of «Heat Power Plants»; Novosibirsk State Technical University, Russian Federation; e-mail: elistratov@corp.nstu.ru

*Редакцияға енуі 06.09.2024*

*Өңдеуден кейін түсуі 19.09.2024*

*Жариялауға қабылданды 24.09.2024*



S.Ye. Tursynbek<sup>1\*</sup>, Kh.S. Rafikova<sup>2</sup>, V.M. Dembitsky<sup>3</sup>, D.S. Zolotareva<sup>1</sup>, Ye.O. Belyankova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazakh-British Technical University,  
Kazakhstan, Almaty, 59 Tole bi street,

<sup>2</sup>Satbayev University,

Kazakhstan, Almaty, 22 Saybayev street,

<sup>3</sup>Centre for Applied Research, Innovation and Entrepreneurship, Lethbridge College,  
Canada, Lethbridge, 3000 College Drive South

\*e-mail: erzhanovnasss@gmail.com

## SYNTHESIS AND APPLICATION OF PHOSPHINITE LIGAND-CONTAINING RUTHENIUM CATALYSTS IN TRANSFER HYDROGENATION

**Abstract:** Transfer hydrogenation (TH) is a highly significant reaction in organic chemistry, especially in the synthesis of pharmaceuticals, agrochemicals, and fine chemicals. This method involves the transfer of hydrogen from a donor molecule to an unsaturated substrate, offering a safer and more convenient alternative to direct hydrogenation, which typically requires high-pressure hydrogen gas. TH stands out for its ability to selectively reduce multiple functional groups under milder conditions, thereby reducing the risk of over-reduction or damage to sensitive functional groups. This technique is particularly valuable in asymmetric synthesis (AS), where chiral catalysts enable the production of enantiomerically pure compounds, crucial for drug development.

Ruthenium complexes are particularly noteworthy for their effectiveness in asymmetric TH. Their stability and adaptability to different reaction environments make them ideal for both laboratory-scale and industrial applications. Phosphinite ligands ( $P(OR)R'_2$ ) are used in synthesis of complexes to improve their properties. These ligands are known for their ability to finely tune the electronic and steric properties of metal centers. The electron-donating nature of the phosphorus atom, combined with the variability in the R and R' groups, allows for significant customization of the catalyst's properties.

The purpose of the work is to review up-to-date discoveries in the field of TH.

The integration of phosphinite ligands into ruthenium catalysts marks a significant advancement in the field of TH. These catalysts exhibit enhanced efficiency, selectivity, and stability, proving crucial in AS. The study's exploration of various hydrogen sources, bases, and mechanisms has provided deeper insight into the process of TH.

**Key words:** transfer hydrogenation, ruthenium catalyst, phosphinite ligand, asymmetric synthesis, enantioselectivity, catalytic efficiency, steric and electronic properties.

### Introduction

Transfer hydrogenation (TH) is a highly significant reaction in organic chemistry, especially in the synthesis of pharmaceuticals, agrochemicals, and fine chemicals. This method involves the transfer of hydrogen from a donor molecule to an unsaturated substrate, offering a safer and more convenient alternative to direct hydrogenation, which typically requires high-pressure hydrogen gas, upgraded from 2018 to 2023 [1-6]. TH stands out for its ability to selectively reduce multiple functional groups under milder conditions, thereby reducing the risk of over-reduction or damage to sensitive functional groups [3]. This technique is particularly valuable in asymmetric synthesis, where chiral catalysts enable the production of enantiomerically pure compounds, crucial for drug development [4].

Ruthenium catalysts have gained prominence in transfer hydrogenation due to their excellent catalytic activity by 2018. These catalysts are versatile and can be used in the reduction of various functional groups, including ketones, aldehydes, imines, and even nitriles [5, 6].

Ruthenium complexes are particularly noteworthy for their effectiveness in asymmetric transfer hydrogenation, providing high enantioselectivity in the reduction of prochiral substrates [7]. Their stability and adaptability to different reaction environments make them ideal for both laboratory-scale and industrial applications.

Phosphinite ligands, typically characterized by their  $P(OR)R'_2$  structure (where R and R' represent alkyl or aryl groups), are a class of ligands that have attracted considerable interest in catalysis. These ligands are known for their ability to finely tune the electronic and steric properties of metal centers [8-12]. The electron-donating nature of the phosphorus atom, combined with the variability in the R and R' groups, allows for significant customization of the catalyst's properties. This customization can influence the catalyst's activity, selectivity, and stability, making phosphinite ligands highly valuable in the design of advanced catalytic systems [13].

The incorporation of phosphinite ligands into ruthenium catalysts has revolutionized their application in transfer hydrogenation. These ligands enhance the efficiency and selectivity of ruthenium catalysts, enabling more precise control over the reaction process. In asymmetric transfer hydrogenation, phosphinite ligands have been instrumental in achieving high levels of enantioselectivity, crucial for the production of chiral molecules. Additionally, the steric and electronic modulation provided by these ligands has been found to improve the turnover frequency and operational stability of ruthenium catalysts, making them more effective and durable for various synthetic applications. The development of ruthenium-phosphinite catalysts represents a significant advancement in catalysis, offering new possibilities for efficient, selective, and sustainable chemical synthesis [14-16].

### **Phosphinite Ligands: Structure, Properties, and Synthesis**

Due to the distinctive properties of phosphorus derivatives in metal coordination, trivalent phosphorus ligands have consistently been significant in asymmetric homogeneous organometallic catalysis as metal binders. These compounds provide the ability to tailor the steric and electronic attributes of the ligands. From an electronic perspective, the  $\pi$ -acceptor characteristics of the phosphorus group can be significantly altered by substituting P-C bonds with P-O, resulting in the formation of phosphinites, phosphonites, or phosphites (refer to Figure 1a). Generally, ligands, and particularly phosphorus-based derivatives, vary based on their coordination style, including monodentate, bidentate, or polydentate modes, as illustrated in Figure 1b [17].

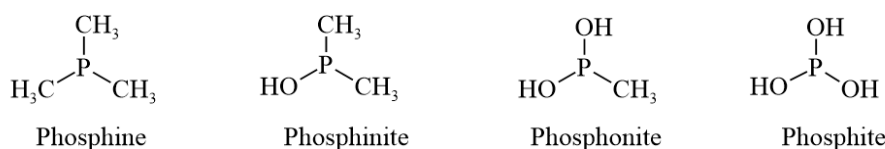


Figure 1a – Various trivalent phosphorus ligand families

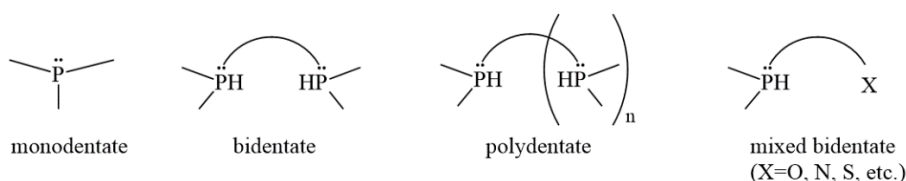
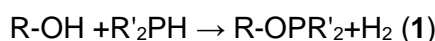


Figure 1b – Modes of coordination for the trivalent phosphorus ligands

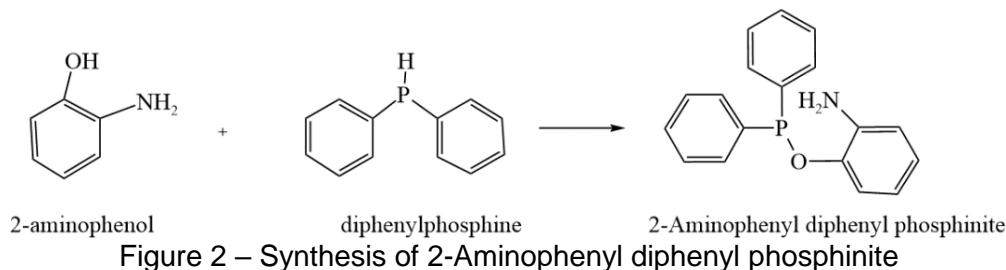
The P-O bond in phosphinites is polar due to the higher electronegativity of oxygen compared to phosphorus, resulting in a partial negative charge on oxygen and a partial positive charge on phosphorus. This polarity significantly influences the ligand's electronic characteristics, affecting its coordination behavior with metals. Moreover, the steric properties of phosphinite ligands, dictated by the size and shape of the R and R' groups, are crucial in determining their utility in catalysis, particularly in controlling the spatial environment around the metal center [18, 19].

Synthesizing phosphinite ligands typically involves a reaction between a secondary phosphine and an alcohol. The general reaction can be represented as follows (1) [20]:

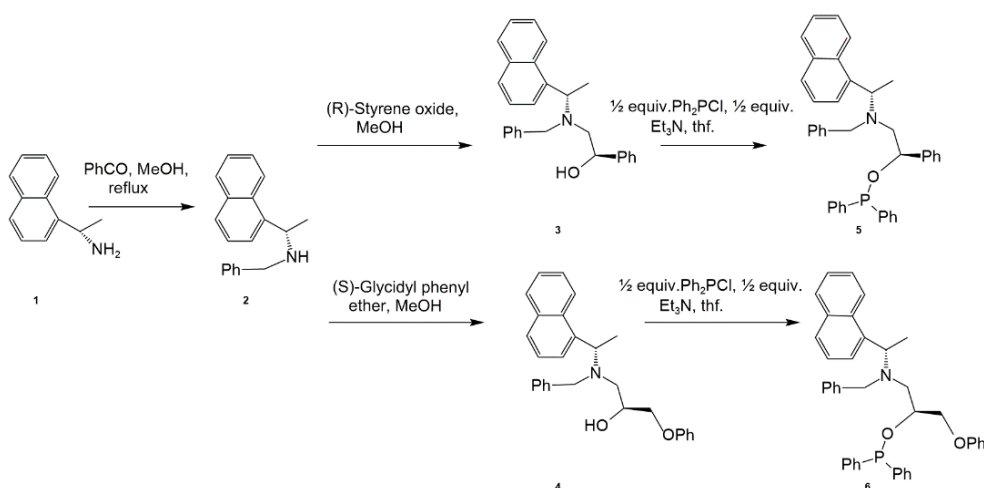


The choice of R and R' groups offers a plethora of possibilities for the resultant phosphinite ligand. Key factors in this synthesis include the selection of appropriate secondary phosphine and alcohol, reaction conditions such as temperature and duration, and the potential use of catalysts or dehydrogenating agents to drive the reaction to completion [21-26].

A prototypical example is the synthesis of diphenylphosphinite ( $\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{-OPPh}_2$ ) from diphenylphosphine ( $\text{Ph}_2\text{PH}$ ) and an alcohol such as 2-aminophenol ( $\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{OH}$ ) (Figure 2). The process generally yields high-purity phosphinite ligands, with typical yields exceeding 85% [27].



Another example of the preparation of phosphinite ligands is shown below in Figure 3



Aydemir and Tribo groups [5, 28] describe the synthesis of chiral monodentate  $C_1$ -symmetric phosphinite ligands. This process involves hydrogen abstraction from specific chiral amino alcohols, using triethylamine ( $\text{Et}_3\text{N}$ ) and reacting with phenyldichlorophosphine ( $\text{Ph}_2\text{P(Ph)Cl}$ ) in anhydrous methylene chloride ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), all under an inert argon atmosphere [29]. The phosphinite ligands, known to gradually decompose into oxide and diphenylphosphinous acid ( $\text{Ph}_2\text{P(O)H}$ ) [30], were characterized by  $^{31}\text{P}\{-^1\text{H}\}$  NMR spectroscopy. This spectroscopy revealed the formation of  $\text{PPh}_2\text{PPh}_2$  and  $\text{P(O)Ph}_2\text{PPh}_2$ , with distinctive NMR signals [31].

The advancement of the ligand preparation reactions was effectively tracked using  $^{31}\text{P}\{-^1\text{H}\}$  NMR spectroscopy. The initial  $\text{PPh}_2\text{Cl}$  material, exhibiting signals at  $\delta = 81.0$  ppm, vanished, and new singlets emerged at lower fields, indicating the formation of phosphinite ligands (3,4,5,6 in Figure 3). Moreover, the  $^{31}\text{P}\{-^1\text{H}\}$  NMR spectra of the isolated ligands matched the values,  $\delta = 15.4$  ppm, 35.0 ppm, 21.6 ppm previously reported for similar compounds [5, 32, 33].

#### Development of Ruthenium-Phosphinite Catalysts

Ru complexes in Figure 4 were synthesized using specific phosphinite ligands and ruthenium precursors [34]. Notably, the use of  $[\text{Ru}(\eta^6\text{-p-cymene})(\mu\text{-Cl})\text{Cl}]_2$  and  $[\text{Ru}(\eta^6\text{-benzene})(\mu\text{-Cl})\text{Cl}]_2$  as precursors is outlined, with the formation of mono- or binuclear complexes [35]. In the synthesis of ruthenium(II) complexes, the initial material used was  $[\text{Ru}(\eta^6\text{-p-cymene})(\mu\text{-Cl})\text{Cl}]_2$ . This precursor was synthesized through a reaction involving a commercially available compound,  $\alpha$ -phellandrene (5-isopropyl-2-methylcyclohexa-1,3-diene), and  $\text{RuCl}_3$  [36]. The ligand p-cymene is especially revealing in understanding the symmetry of the tri-legged fragment in the molecular structure [37].

In ruthenium chemistry, p-cymene is a common arene ligand, and its NMR signal is sensitive to the symmetry of organometallic compounds [38]. When coupled to a  $ML_2L'$  metal fragment ( $C_s$  symmetry), the  $^1H$  and  $^{13}C$  NMR peaks are significantly different from those associated with  $h^6$ -coordinated to a  $ML_1L_2L_3$  fragment ( $C_1$  symmetry) [39]. In this case, the free rotation of p-cymene ligand around the axis of Ru-arene prevented by the steric hindrance of amino alcohol phosphinite ligands [40]. The authors discuss the sensitivity of NMR signals of p-cymene to the symmetry in ruthenium complexes and analyzes the nuclear Overhauser effect interaction to deduce stereochemistry. The synthesis and characterization of complexes are described in detail, with a focus on their NMR spectra and the influences of solubility on the target product's yields. The study concludes with the confirmation of the structures of these complexes using IR spectroscopy and microanalysis [5].

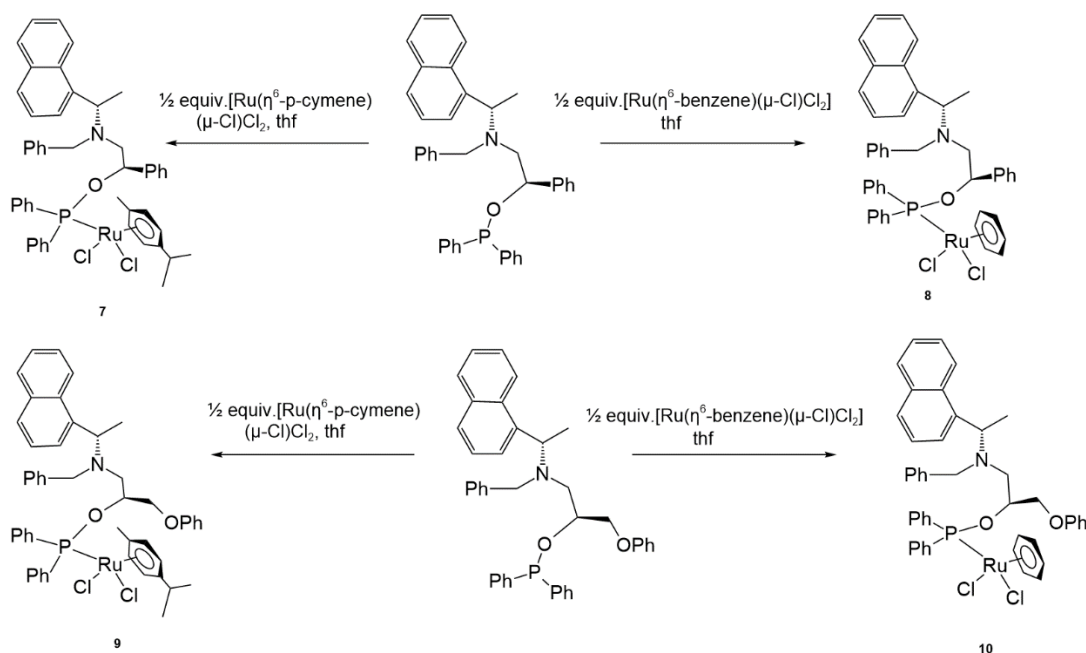


Figure 4 – Synthesis of Ru catalysts [5].

The Ru-arene complexes shows singlets in their  $^{31}P$ - $\{^1H\}$  NMR spectra at approximately  $\delta$  106-110 ppm [41]. The successful formation of Ru-phosphinite complexes in 2020 is often validated by a combination of spectroscopic and crystallographic techniques [41]. These complexes are significant due to their enhanced catalytic properties, particularly in transfer hydrogenation reactions, where they exhibit improved reactivity and selectivity [42-47].

#### **Catalytic Applications in Transfer Hydrogenation**

The authors [5] discuss the development of new Ru(II) complexes with carefully crafted ligands, driven by the impressive catalytic capabilities and structural flexibility of phosphinite-based transition metal complexes in 2018 [48, 49]. Special emphasis was placed on arene ligands [50] due to their unique properties: they occupy three adjacent sites in ruthenium's octahedral coordination environment, offer distinct reactivity due to their relatively weak electron-donating nature, and allow for flexible substitution patterns. The study tested these complexes as catalysts in the transfer hydrogenation of aromatic ketones using iPrOH solution, with compounds in Figure 4 serving as precatalysts alongside iPrOH/KOH as the reducing system and acetophenone as the model substrate, Figure 5.



Figure 5 – Transfer hydrogenation of acetophenone

Table 1 – Transfer hydrogenation of acetophenone with 2-propanol catalyzed by (1*R*)-2-{benzyl[(1*S*)-1-(naphthalen-1-yl)ethyl] amino} – 1-phenylethyl diphenylphosphinito [dichloro( $\eta^6$ -*p*-cymene)ruthenium(II)] (7), (1*R*)-2{benzyl[(1*S*)-1-(naphthalen-1-yl)ethyl]amino}-1-phenylethyl diphenylphosphinito [dichloro( $\eta^6$ -benzene) ruthenium (II)] (8), (2*S*)-1-{benzyl[(1*S*)-1-(naphthalen-1-yl)ethyl]amino}-3-phenoxypropan-2-yl diphenylphosphinito[dichloro( $\eta^6$ -*p*-cymene)ruthenium (II)] (9) and (2*S*)-1-{benzyl[(1*S*)-1-(naphthalen-1-yl)ethyl]amino} – 3 phenoxypropan–2-yl diphenylphosphinito [dichloro( $\eta^6$ -benzene) ruthenium (II)] (10), (catalysts 7, 8, 9, 10 are shown in picture 4)

Entry	Complex	S/C/KOH	Time	Conversion (%) <sup>[f]</sup>	% ee <sup>[g]</sup>	Conf. <sup>[h]</sup>	TOF(h <sup>-1</sup> ) <sup>[i]</sup>
1	7 <sup>[a]</sup>	100:1:5	96h	12 (22) <sup>d</sup>	72 (65) <sup>d</sup>	S	<5
2	8 <sup>[a]</sup>	100:1:5	96h	16 (28) <sup>d</sup>	81 (77) <sup>d</sup>	S	<5
3	9 <sup>[a]</sup>	100:1:5	96h	21 (34) <sup>d</sup>	86 (81) <sup>d</sup>	R	<5
4	10 <sup>[a]</sup>	100:1:5	96h	28 (53) <sup>d</sup>	91 (87) <sup>d</sup>	R	<5
5	7 <sup>[b]</sup>	100:1	1h	trace	...	...	...
6	8 <sup>[b]</sup>	100:1	1h	trace	...	...	...
7	9 <sup>[b]</sup>	100:1	1h	trace	...	...	...
8	10 <sup>[b]</sup>	100:1	1h	trace	...	...	...
9	7 <sup>[c]</sup>	100:1:5	2h	97 (91) <sup>e</sup>	78 (70) <sup>e</sup>	S	48
10	8 <sup>[c]</sup>	100:1:5	1h	98 (93) <sup>e</sup>	87 (79) <sup>e</sup>	S	98
11	9 <sup>[c]</sup>	100:1:5	1h	99 (93) <sup>e</sup>	91 (86) <sup>e</sup>	R	99
12	10 <sup>[c]</sup>	100:1:5	1/2h	98 (92) <sup>e</sup>	96 (91) <sup>e</sup>	R	196
13	10	100:1:3 <sup>[k]</sup>	1/2h	94	89	S	188
14	10	100:1:5 <sup>[k]</sup>	1/2h	98	96	S	196
15	10	100:1:7 <sup>[k]</sup>	1/2h	90	90	R	180
16	10	100:1:9 <sup>[k]</sup>	1/2h	87	91	R	174

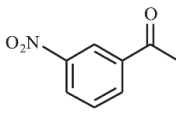
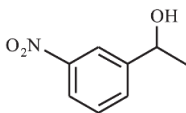
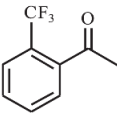
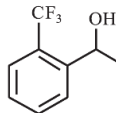
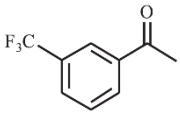
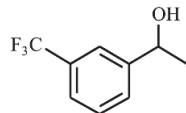
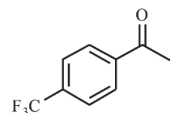
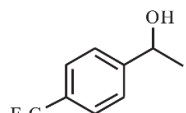
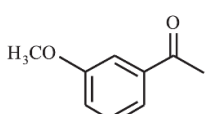
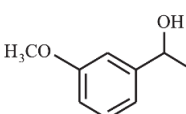
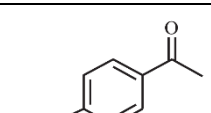
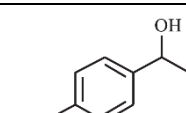
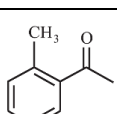
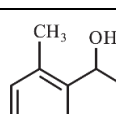
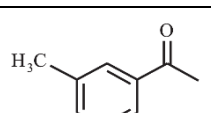
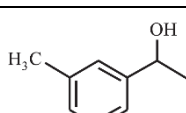
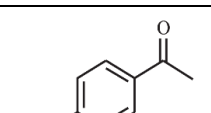
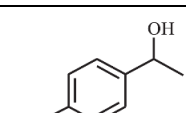
Reaction conditions: <sup>[a]</sup> At room temperature; acetophenone/Cat./KOH, 100:1:5; <sup>[b]</sup> Refluxing in 2-propanol; acetophenone/Cat., 100:1, in the absence of base; <sup>[c]</sup> Refluxing in 2-propanol; acetophenone/Cat./KOH, 100:1:5; <sup>[d]</sup> At room temperature; acetophenone/Cat./KOH, 100:1:5, (120 h); <sup>[e]</sup> Refluxing in 2-propanol; acetophenone/Cat./NaOH, 100:1:5; <sup>[f]</sup> Determined by GC (three independent catalytic experiments); <sup>[g]</sup> Determined by capillary GC analysis using a chiral cyclodex B (Agilent) capillary column (30 m x 0.32 mm I.D. x 0.25  $\mu$ m film thickness); <sup>[h]</sup> Determined by comparison of the retention times of the enantiomers on the GC traces with the literature values, (S) or (R) configuration was obtained in all experiments; <sup>[i]</sup> TOF = (mol product/mol Cat.) x h<sup>-1</sup>; <sup>[k]</sup> Refluxing in 2-propanol; acetophenone/Cat., 100:1.

Also, outlines the efficiency evaluation of Ru(II) complexes in the asymmetric transfer hydrogenation of ketones, using acetophenone as a standard test reaction. The experiments, conducted under argon using Schlenk-line techniques, involved adding acetophenone and KOH/*i*PrOH solution to an *i*PrOH solution of each complex at room temperature. The reactions yielded (R) or (S)-1-phenyl ethanol with varying conversions and enantiomeric excesses. Temperature was found to play a crucial role in catalytic activity and enantioselectivity. The study also notes that the Ru(II) complexes were highly active, leading to quantitative conversions with varying catalyst/base ratios. A control experiment without a base showed no significant conversion. Also, replacing KOH with NaOH resulted in a minor reduction of both the reaction speed and the enantioselectivity, Table 1. The research further revealed that complexes with -CH<sub>2</sub>OPh in the phosphinite skeleton showed higher activity than those with -Ph moiety. The electronic characteristics, including both the type and the location of substituents on the phenyl ring of the ketone, influenced the rate of reduction and the enantioselectivity. Notably, adding electron-withdrawing groups to the aryl ring of the ketone reduced the electron density on the C=O bond, thereby enhancing the activity and facilitating easier hydrogenation, Table 2. [51-53].

Binuclear and trinuclear ruthenium complexes have emerged as an important class of catalysts for TH. Both the Li and Aydemir research groups synthesized stable phosphinite-bridged dinuclear ruthenium arene complexes [54,55], labeled 12 and 13, through the metalation of phosphinite-containing Schiff base ligands with [Ru( $\eta^6$ -arene)-( $\mu$ -Cl)Cl]<sub>2</sub>. These complexes demonstrated high catalytic efficiency in TH of aromatic ketones, with 12 and 13 achieving turnover frequency (TOF) values up to 530 h<sup>-1</sup> [55]. Additionally, a binuclear ruthenium(II) pyridazine complex, 14, proved effective for similar reactions [56]. Innovative tridentate aminophosphine–phosphinite and phosphinite ligands were also developed, leading to trinuclear ruthenium(II) dichloro complexes. When applied in TH of ketones in 2-PrOH solution, particularly with 4-fluoro acetophenone, these complexes, especially catalyst 15, achieved a TOF of 1176 h<sup>-1</sup> [57], Figure 6.



Table 2 – Transfer hydrogenation results for substituted acetophenones with the catalyst systems prepared from (1*R*)-2-{benzyl[(1*S*)-1-(naphthalen-1-yl)ethyl]amino}-1-phenylethyl diphenylphosphinito [dichloro(*h*<sup>6</sup>-*p*-cymene)ruthenium(II)] (7), (1*R*)-2-{benzyl[(1*S*)-1-(naphthalen-1-yl)ethyl]amino}-1-phenylethyl diphenylphosphinito [dichloro(*h*<sup>6</sup>-benzene)ruthenium(II)] (8), (2*S*)-1-{benzyl[(1*S*)-1-(naphthalen-1-yl)ethyl]amino}-3-phenoxypropan-2-yl-diphenyl-phosphinito [dichloro-(*h*<sup>6</sup>-*p*-cymene)ruthenium(II)] (9) and (2*S*)-1-{benzyl[(1*S*)-1-(naphthalen-1-yl)ethyl]amino}-3-phenoxypropan-2-yl diphenylphosphinito [dichloro(*h*<sup>6</sup>-benzene)ruthenium(II)](10)<sup>[a]</sup>, (catalysts 7, 8, 9, 10 are shown in picture 4)

Entry	Cat.	Substrate	Product	Time	Conv.(%) <sup>[b]</sup>	% ee <sup>[c]</sup>	Config. <sup>[d]</sup>
1	7			45 min	98	77	S
2	8			20 min	97	85	S
3	9			20 min	99	90	R
4	10			10 min	99	94	R
5	7			1 h	97	79	S
6	8			30 min	98	87	S
7	9			20 min	98	92	R
8	10			20 min	97	96	R
9	7			45 min	99	76	R
10	8			20 min	98	85	R
11	9			20 min	98	90	R
12	10			10 min	99	94	R
13	7			30 min	99	74	S
14	8			15 min	99	84	S
15	9			15 min	97	86	R
16	10			5 min	98	90	R
17	7			13 h	97	81	S
18	8			8 h	99	89	S
19	9			8 h	98	92	R
20	10			5 h	98	98	R
21	7			8 h	99	66	S
22	8			5 h	99	73	S
23	9			5 h	97	81	R
24	10			3 h	99	87	R
25	7			12 h	97	70	S
26	8			7 h	99	74	S
27	9			7 h	98	85	R
28	10			4 h	99	93	R
29	7			9 h	97	67	S
30	8			5 h	98	71	S
31	9			5 h	98	81	R
32	10			3 h	99	90	R
33	7			6 h	98	64	S
34	8			3 h	99	68	S
35	9			3 h	97	79	R
36	10			2 h	99	84	R

Reaction conditions: [a] Catalyst (0.005 mmol), substrate (0.5 mmol), 2-propanol (5 mL), KOH (0.025 mmol%), 82°C, the concentration of acetophenone derivatives are 0.1M; [b] Purity of compounds is checked by NMR and GC (three independent catalytic experiments), yields are based on aryl ketone; [c] Determined by capillary GC analysis using a chiral cyclodex B (Agilent) capillary column (30 m 0.32 mm I.D. x 0.25 mm film thickness); [d] Determined by comparison of the retention times of the enantiomers on the GC traces with literature values, (S) or (R) configuration was obtained in all experiments.

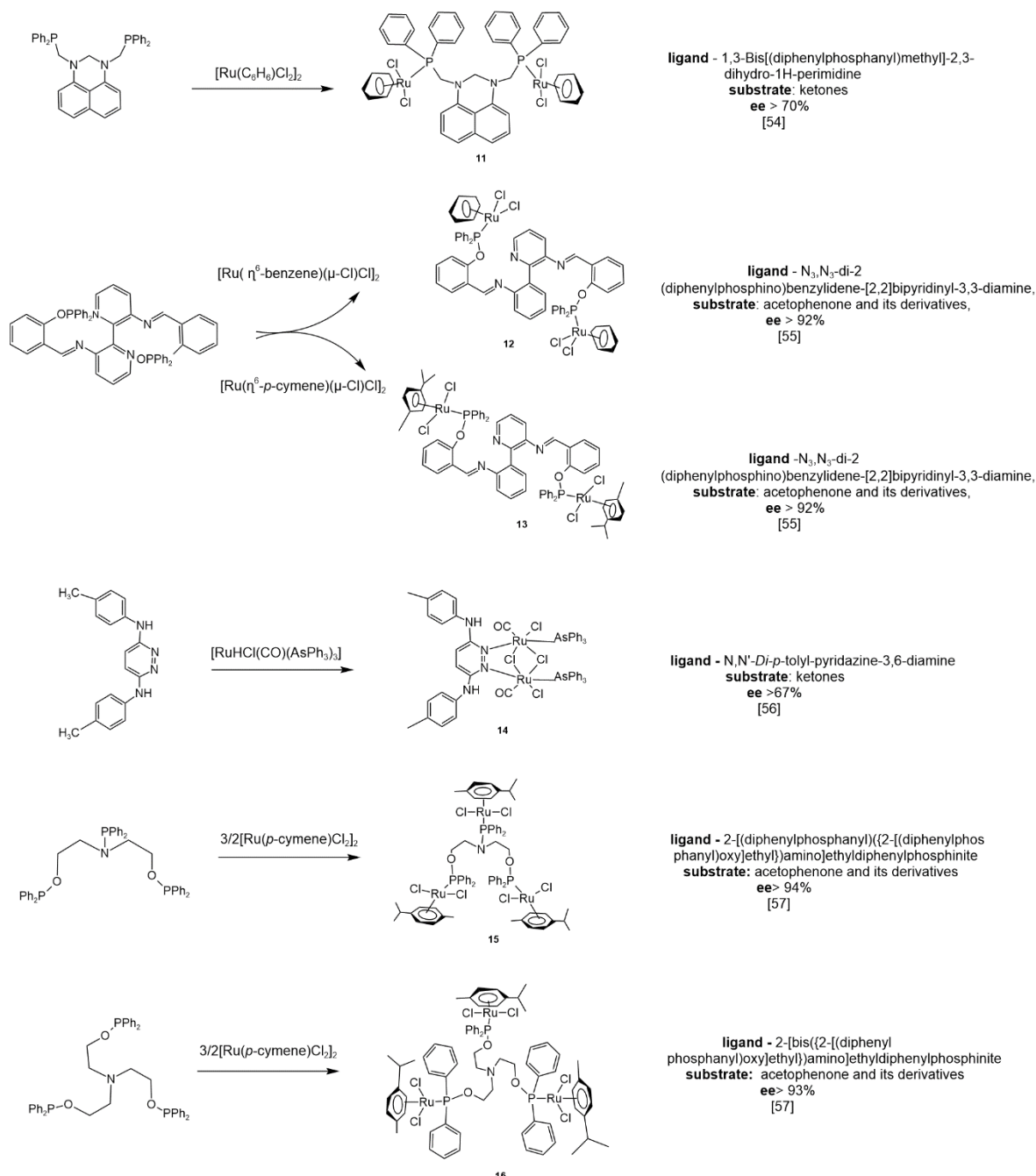


Figure 6 – Binuclear and Trinuclear Ru TH Catalysts and their ligands [54-57]

### Hydrogen sources and bases in TH

In the realm of TH powered by transition-metal catalysts, a diverse array of "sacrificial" hydrogen sources has been employed, including cyclohexene, cyclohexadiene, various alcohols (2-PrOH, MeOH, EtOH, glycerol), formic acid, Hantzsch esters [58], hydrazine, benzothiazoles, and more. The prevalent use of 2-PrOH and formate as reducing agents is largely attributed to their affordability and sustainability. Certain instances saw the use of an alkane as the hydrogen donor and an olefin as the acceptor, to optimize the thermodynamics of the TH reaction. A pioneering example by Crabtree's group [59] in 1979 demonstrated the efficient catalysis of hydrogen transfer from cyclones to *t*-butylethylene using an iridium complex, yielding the corresponding cycloolefins and 2,2-dimethylbutane. Subsequent studies revealed the activity of other complexes as  $[\text{IrH}_2(\text{O}_2\text{CCF}_3)(\text{PAR}_3)_2]$  and  $[\text{ReH}_7(\text{PPh}_3)_2]$  in similar dehydrogenation processes [60,61].

In 2003, Goldman's research identified the "pincer"-ligated transition-metal complex  $[\text{Ir}(^t\text{BuPCP})\text{H}_2]$  as a robust catalyst for TH reactions [62,63], producing enamines and cyclooctenes with good yields. The solvent medium for TH has varied from organic, ionic liquid [64-67], and

aqueous states [68]. Enzyme-catalyzed TH in aqueous media, a longstanding natural process, has guided recent advances in metal-catalyzed TH in water [69-74]. These advancements underline the economic and environmental advantages of water as a solvent, its compatibility with commonly used hydrogen sources, and the breakthroughs in synthesizing water-soluble catalysts or ligands [75-77]. The performance of transition metals in aqueous media is particularly influenced by the pH of the reaction mixtures, enhancing selectivity and minimizing side reactions [78-80]. In particular, reactions in water have been observed to proceed faster than in organic solvents, marking a significant stride in the field of catalysis [81,82].

In TH, a variety of organic and inorganic bases, including Et<sub>3</sub>N, KOH, NaOH, and others, have been utilized. The catalytic efficiency of transition-metal catalysts in TH is influenced by the base's pK<sub>a</sub> value and whether it's cationic or anionic [83]. Interestingly, TH has been successfully conducted in some instances without any base [84-87]. A wide range of unsaturated compounds, such as ketones and aldehydes, have been reduced through TH, facilitated by either homogeneous or heterogeneous transition-metal catalysts. This process has even been extended to the industrial-scale synthesis of asymmetric products [88].

### Proposed transfer hydrogenation reaction pathways

The transfer of hydrogen to ketones or aldehydes generally follows three distinct pathways. The first, known as "direct hydrogen transfer," is associated with main group elements and does not involve a metal hydride intermediate. The second pathway, the "hydridic route," is common for most transition metal catalysts and includes a metal hydride intermediate in the hydrogen transfer. Metal-ligand bifunctional catalysts, which have both a hydridic hydrogen on the metal and an acidic hydrogen on the ligand, also function via this hydridic route. Additionally, an "ionic mechanism" has been suggested for some transition-metal-catalyzed hydrogenations [89, 90].

For catalysts that are monohydride complexes and follow the "hydridic route" in hydrogen transfer to ketones, two distinct pathways, "inner-sphere" and "outer-sphere" mechanisms, have been proposed. In both cases, the hydride moves to the carbonyl carbon. However, the inner-sphere mechanism involves the formation of a metal alkoxide intermediate, requiring the substrate's coordination with the catalyst. In contrast, the outer-sphere mechanism suggests a concerted hydrogen transfer that occurs without substrate coordination to the catalyst [89].

A prominent example in hydrogen-transfer catalysts is the Shvo catalyst, identified as {[Ph<sub>4</sub>(η<sup>5</sup>-C<sub>4</sub>CO)]<sub>2</sub>H}-Ru<sub>2</sub>(CO)<sub>4</sub>H [90, 101], Figure 7, 8.

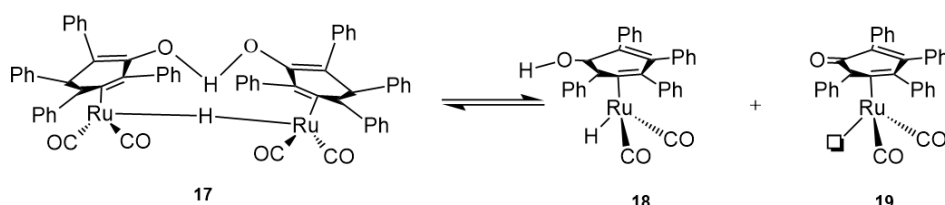


Figure 7 – Equilibrium between Precursor and Active Species of the Shvo Catalyst

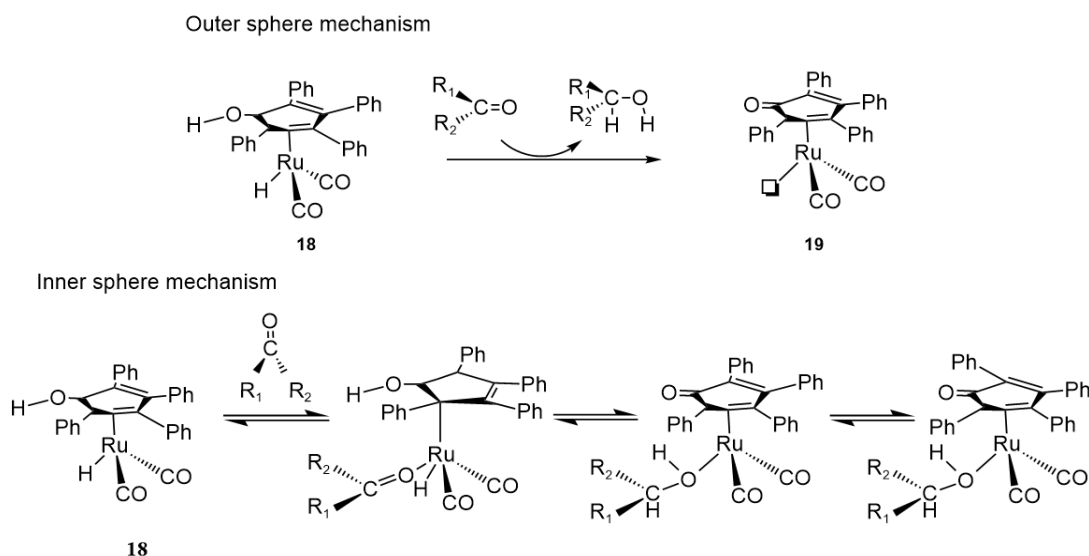


Figure 8 – Proposed mechanisms for the carbonyl hydrogenation by means of the Shvo catalyst

Catalyst (17) in Figure 7 has been effectively utilized in various hydrogen-transfer [90,91] reactions, including the hydrogenation of alkynes [92], carbonyls [93], and imines [94], as well as the oxidation of alcohols [95] and amines [96]. It's also used in the dynamic kinetic resolution of secondary alcohols [97] and primary amines [98] alongside lipases. Introduced about two decades ago, the Shvo catalyst was among the earliest metal-ligand bifunctional catalysts. Since its development, numerous such catalysts based on Ru [99], including Noyori's Ru(diamine)(BINAP) and Ru( $\eta^6$ -arene)-TsDPEN, as well as others involving Rh, Ir, and Os, have been synthesized [100].

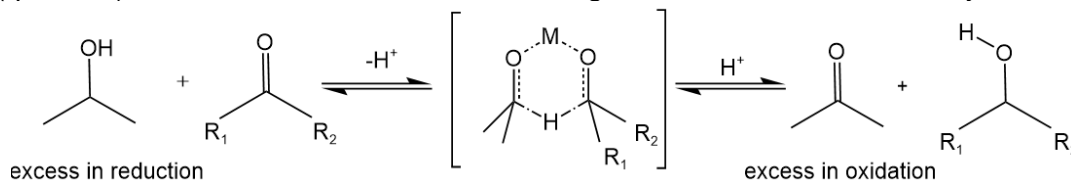


Figure 9 – MPV reduction and Oppenauer oxidation [102].

The pathway through a «direct hydrogen transfer» was proposed for the Meerwein–Ponndorf–Verley (MPV) reduction in Figure 9 [102].

### Conclusion

In conclusion, the exploration of phosphinite ligand-containing ruthenium catalysts in transfer hydrogenation has demonstrated significant potential to transform organic synthesis. The unique properties of these ligands, combined with the versatility and efficiency of ruthenium complexes, suggest that future research will likely focus on innovative ligand design and synthesis to enhance catalytic performance. Advancements in mechanistic understanding, driven by advanced spectroscopic techniques and computational modeling, will provide deeper insights into reaction pathways, enabling the rational design of more efficient catalysts. Additionally, there is a growing emphasis on sustainable catalysis, with future efforts prioritizing the use of environmentally benign hydrogen donors and solvent systems, improved catalyst recyclability, and the expansion of substrate scope to include more challenging and diverse functional groups. Interdisciplinary approaches, involving collaborations across materials science, computational chemistry, and chemical engineering, will be essential for developing more robust catalytic systems and integrating them into industrial applications. By addressing these areas, researchers can unlock new potentials, making these catalysts indispensable tools in organic synthesis and paving the way for innovative applications in various industries.

### References

1. Transfer Hydrogenation of Alkenes Using Ethanol Catalyzed by a NCP Pincer Iridium Complex: Scope and Mechanism / Y. Wang et al // *J. Am. Chem. Soc.* – 2018. – Vol. 140. – P. 4417–4429. DOI: <https://doi.org/10.1021/jacs.8b01038>.
2. Exploring Hydrogen Sources in Catalytic Transfer Hydrogenation: A Review of Unsaturated Compound Reduction / B. Taleb et al // *Molecules.* – 2023. – Vol. 28. – P. 7541. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28227541>.
3. Arslan N. Enantioselective transfer hydrogenation of pro-chiral ketones catalyzed by novel ruthenium and iridium complexes of well-designed phosphinite ligand / N. Arslan // *Phosphorus,Sulfur Silicon Relat. Elem.* – 2019. – Vol. 195. – P. 628-637. DOI: <https://doi.org/10.1080/10426507.2019.1704285>.
4. Vyas V.K. Enantioselective Synthesis of Bicyclopentane-Containing Alcohols via Asymmetric Transfer Hydrogenation / V.K. Vyas, G.J. Clarkson, M. Wills // *Org. Lett.* – 2021. – Vol. 23. – P. 3179-3183. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.orglett.1c00889>.
5. A new class of well-defined ruthenium catalysts for enantioselective transfer hydrogenation of various ketones / C. Kayan et al // *J. Organomet. Chem.* – 2018. – Vol. 869. – P. 37-47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2018.06.002>.
6. Simple ruthenium-catalyzed reductive amination enables the synthesis of a broad range of primary amines / T. Senthamarai et al // *Nat. Commun.* – 2018. – Vol. 9. – P. 4123. DOI: <https://www.nature.com/articles/s41467-018-06416-6>.

7. A new efficient bis(phosphinite)-ruthenium(II) catalyst system for the asymmetric transfer hydrogenation of aromatic ketones / F. Durap et al // *Inorg. Chim. Acta.* – 2014. - Vol. 411. – P. 77-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ica.2013.11.029>.
8. Extraction of actinide ions using three CMPO-functionalized pillar[5]arenes in a room temperature ionic liquid / A. Sengupta et al // *J. Sep. Pur.* – 2017. – Vol. 195. – P. 224-231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.11.059>.
9. Extending the Application Scope of Organophosphorus(V) Compounds in Palladium(II) Pincer Chemistry / D.V. Aleksanyan et al // *Organometallics.* – 2019. – Vol. 38. – P. 1062-1080. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.8b00867>.
10. Rahim A. 1,4-Migration of Transition Metals in Organic Synthesis / A. Rahim, J. Feng, Z. Gu // *Chin. J. Chem.* – 2019. – Vol. 37. – P. 929-945. DOI: <https://doi.org/10.1002/cjoc.201900180>.
11. Gomez-Suarez A. Complexes of the Late Transition Metals: Organometallic Chemistry and Catalysis / A. Gomez-Suarez, D.J. Nelson, S.P. Nolan // *Adv. Organomet.Chem.* – 2019. – Vol. 69. – P. 283-327. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.adomc.2018.02.004>.
12. Synthesis and coordination chemistry of aminophosphine derivatives of adenine / Q. Zhang et al // *Dalton Trans.* – 2003. – Vol. 16. – P. 3250-3257. DOI: <https://doi.org/10.1039/B303715K>.
13. Arrayás R.G. Recent Applications of Chiral Ferrocene Ligands in Asymmetric Catalysis / R.G. Arrayás, J. Adrio, J.C. Carretero // *Wiley.* – 2006. – Vol. 46. – P. 7674-7715. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.200602482>.
14. Sutcliffe O.B. Planar chiral 2-ferrocenyloxazolines and 1,1'-bis (oxazoliny) ferrocenes – syntheses and applications in asymmetric catalysis / O.B. Sutcliffe, M.R. Bryce // *Tetrahedron.* – 2003. – Vol. 14. – P. 2297-2325. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0957-4166\(03\)00520-2](https://doi.org/10.1016/S0957-4166(03)00520-2).
15. Chiral C<sub>2</sub>-symmetric η<sup>6</sup>-p-cymene-Ru(II)-phosphinite complexes: Synthesis and catalytic activity in asymmetric reduction of aromatic, methyl alkyl and alkyl/aryl ketones / D.E. Karakas et al // *Inorg. Chim. Acta.* – 2017. – Vol. 471. – P. 430-439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ica.2017.11.044>.
16. Sun S. Exploration of chiral diastereomeric spiroketal (SPIROL)-based phosphinite ligands in asymmetric hydrogenation of heterocycles / S. Sun, P. Nagorny // *Chem. Commun.* – 2020. – Vol. 56. – P. 8432-8435. DOI: <https://doi.org/10.1039/d0cc03088k>.
17. Phosphine-Phosphinite and Phosphine-Phosphite Ligands: Preparation and Applications in Asymmetric Catalysis / H. Fernandez-Perez et al // *Chem. Rev.* – 2011. – Vol. 111. – P. 2119-2176. DOI: <https://doi.org/10.1021/cr100244e>.
18. Woodwarda S. Use of sugar-based ligands in selective catalysis: Recent developments / S. Woodwarda, M. Dieguez, O. Pamies // *Coord. Chem. Rev.* – 2010. – Vol. 254. – P. 2007-2030. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2010.03.005>.
19. Isik U. Novel mononuclear metal-phosphinite compounds and catalytic performance in transfer hydrogenation of ketones / U. Isik, N. Meric, M. Aydemir // *Middle East J. Sci.* – 2022. – Vol. 8. – P. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.51477/mejs.1077805>.
20. Gonzalez-Fernandez R. Half-sandwich ruthenium (<math>\eta^5\text{-C}\_5\text{H}\_5\text{Ru}(\text{P})\text{C}\_6\text{H}\_4\text{R}</math>) complexes with tethered arene-phosphinite ligands: synthesis, structure and application in catalytic cross dehydrogenative coupling reactions of silanes and alcohols / R. Gonzalez-Fernandez, P. Crochet, V. Cadierno // *Dalton Trans.* – 2020. – Vol. 49. – P. 210. DOI: <https://doi.org/10.1039/c9dt04421c>.
21. Woodwarda S. Use of sugar-based ligands in selective catalysis: Recent developments / S. Woodwarda, M. Dieguez, O. Pamies // *Coord. Chem. Rev.* – 2010. – Vol. 254. – P. 2007–2030. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2010.03.005>.
22. Synthesis of half-sandwich ruthenium(II) and iridium(III) complexes containing imidazole-based phosphinite ligands and their use in catalytic transfer hydrogenation of acetophenone with isopropanol / U. Isik et al // *J. Organomet. Chem.* – 2023. – Vol. 998. – P. 122800. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2023.122800/>
23. Review of Phosphorus Chemistry in the Thermal Conversion of Biomass: Progress and Perspectives / E.O. Olsson et al // *Energy Fuels.* – 2023. – Vol. 37. – P. 6907-6998. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c04048>.
24. Ketone transfer hydrogenation reactions catalyzed by catalysts based on a phosphinite ligand / D.E. Karakas et al // *J. Coord. Chem.* – 2022. – Vol. 75. – P. 493-506. DOI: <https://doi.org/10.1080/00958972.2022.2054339>.

25. Gong J. Transition Metal Pincer Complexes With Chiral Imidazoline Donor(s) / J. Gong, X. Zhu, M. Song // Elsevier Inc. – 2018. – P. 191-218. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812931-9.00009-8>.
26. Radai Z. Synthesis and Reactions of  $\alpha$ -Hydroxyphosphonates / Z. Radai, G. Keglevich // *Molecules*. – 2018. – Vol. 23. – P. 1493. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules23061493>.
27. Firouzabadi H. 2-Aminophenyl diphenylphosphinite as an easily accessible ligand for heterogeneous palladium-catalyzed Suzuki-Miyaura reaction in water in the absence of any organic co-solvent / H. Firouzabadi, N. Iranpoor, M. Gholinejad // *J. Organomet. Chem.* – 2010. – Vol. 695. – P. 2093-2097. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2010.05.016>.
28. Exploring the Versatility of N-Pyrazole, P-Phosphinite Hybrid Ligands against Pd(II). From Monomers and Dimers to One-Dimensional Chain, Two-Dimensional Layer Polymers and Three-Dimensional Networks / S. Munoz et al // *Cryst. Growth Des.* – 2012. – Vol. 12. – P. 6234-6242. DOI: <https://doi.org/10.1021/cg3014333>.
29. Aydemir M. Applications of transition metal complexes containing 3,3'-bis(diphenylphosphinoamine)-2,2'-bipyridine ligand to transfer hydrogenation of ketones / M. Aydemir, N. Meric, A. Baysal // *J. Organomet. Chem.* – 2012. – Vol. 720. – P. 38-45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2012.08.031>.
30. Metal-Metal Interactions in C<sub>3</sub>-Symmetric Diiron Imido Complexes Linked by Phosphinoamide Ligands / S. Kuppuswamy et al // *Inorg. Chem.* – 2013. – Vol. 52. – P. 4802-4811. DOI: <https://doi.org/10.1021/ic302108k>.
31. A DFT Protocol for the Prediction of <sup>31</sup>P NMR Chemical Shifts of Phosphine Ligands in First-Row Transition-Metal Complexes / P. Payard et al // *Organometallics*. – 2020. – Vol. 39. – P. 3121-3130. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.0c00309>.
32. Adhikary A. Catalysis Involving Phosphinite-Based Metallacycles / A. Adhikary, H. Guan // *ACS Catal.* – 2015. – Vol. 5. – P. 6858-6873. DOI: <https://doi.org/10.1021/acscatal.5b01688>.
33. Iridium Complexes as Highly Selective Catalysts: Asymmetric Hydrogenation of Trisubstituted Alkenes. *Angew* / D. Rageot et al // *Chem. Int. Ed.* – 2011. – Vol. 13. – P. 3020-3035. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.201104105>.
34. Synthesis and structures of a chiral phosphine-phosphoric acid ligand and its rhodium(I) complexes / T. Iwai et al // *Tetrahedron*. – 2015. – Vol. 26. – P. 1245-1250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tetasy.2015.09.016>.
35. Romero-Canelon I. Next-Generation Metal Anticancer Complexes: Multitargeting via Redox Modulation / I. Romero-Canelon, P.J. Sadler // *Inorg. Chem.* – 2013. – Vol. 52. – P. 12276-12291. DOI: <https://doi.org/10.1021/ic400835n>.
36. Kharisov B.I. Coordination and organometallic compounds in the functionalization of carbon nanotubes / B.I. Kharisov, O.V. Kharissova // *J. Coord. Chem.* – 2014. – Vol. 67. – P. 3769-3808. DOI: <https://doi.org/10.1080/00958972.2014.888063>.
37. Structure-Activity Relationships of Targeted Ru(II)( $\eta^6$ -p-Cymene) Anticancer Complexes with Flavonol-Derived Ligands / A. Kurzwernhart et al // *J. Med. Chem.* – 2012. – Vol. 55. – P. 10512-10522. DOI: <https://doi.org/10.1021/jm301376a>.
38. Popp J. Facile Arene Ligand Exchange in p-Cymene Ruthenium(II) Complexes of Tertiary P-Chiral Ferrocenyl Phosphines / J. Popp, S. Hanf, E. Hey-Hawkins // *ACS Omega*. – 2019. – Vol. 4. – P. 22540-22548. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03251>.
39. Ritleng V. Ruthenacycles and Iridacycles as Transfer Hydrogenation Catalysts / V. Ritleng, J.G. Vries // *Molecules*. – 2021. – Vol. 6. – P. 4076. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26134076>.
40. Cruchter T. Asymmetric catalysis with octahedral stereogenic-at-metal complexes featuring chiral ligands / T. Cruchter, V.A. Larionov // *Coord. Chem. Rev.* – 2018. – Vol. 376. – P. 95-113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2018.08.002>.
41. Catalytic Nitrile Hydration with [Ru( $\eta^6$ -p-cymene)Cl<sub>2</sub>(PR<sub>2</sub>R')] Complexes: Secondary Coordination Sphere Effects with Phosphine Oxide and Phosphinite Ligands / S.M. Knapp et al // *Organometallics*. – 2013. – Vol. 32. – P. 3744-3752. DOI: <https://doi.org/10.1021/om400380j>.
42. Astruc D. Why is Ferrocene so Exceptional? / D. Astruc // *Eur. J. Inorg. Chem.* – 2016. – P. 6-29. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejic.201600983>.

43. Cunningham L. Recent developments in the synthesis and applications of chiral ferrocene ligands and organocatalysts in asymmetric catalysis / L. Cunningham, A. Benson, P.J. Guiry // *Org. Biomol. Chem.* – 2020. – Vol. 18. – P. 9329-9370. DOI: <https://doi.org/10.1039/d0ob01933j>.
44. Noncovalent Interaction-Assisted Ferrocenyl Phosphine Ligands in Asymmetric Catalysis / Q. Zhao et al // *Acc. Chem. Res.* – 2020. – Vol. 53. – P. 1905-1921. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.0c00347>.
45. The design, synthesis and application of imidazolium-tagged ferrocenyl oxazoline phosphine ligands for the asymmetric 1,3-dipolar cycloaddition of azomethine ylides with nitroalkenes: ion effect for enhancing the reactivity, stereoselectivity and recyclability / L. Dai et al // *Tetrahedron: Asymmetry.* – 2015. – Vol. 26. – P. 350-360. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tetasy.2015.02.009>.
46. Novel ruthenium and palladium complexes as potential anticancer molecules on SCLC and NSCLC cell lines / O. Tokgun et al // *Chem. Pap.* – 2020. – Vol. 74. – P. 2883-2892. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11696-020-01129-x>.
47. Horak K.T. Dioxygen Reduction by a Pd(0)–Hydroquinone Diphosphine Complex / K.T. Horak, T. Agapie // *J. Am. Chem. Soc.* – 2016. – Vol. 138. – P. 3443-3452. DOI: <https://doi.org/10.1021/jacs.5b12928>.
48. The 2-(4-Phenyl-1H-1,2,3-triazol-1-yl)ethanol - Based Phosphinite Ligand Ph<sub>2</sub>POCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>[1,2,3-N<sub>3</sub>C(Ph)C(H)] – Synthesis, Transition-Metal Complexes, and Structural Studies / B. Choubey et al // *Eur. J. Inorg. Chem.* – 2018. – P. 1707-1714. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejic.201701058>.
49. A modular design of ruthenium(II) catalysts with chiral C<sub>2</sub>-symmetric phosphinite ligands for effective asymmetric transfer hydrogenation of aromatic ketones / M. Aydemir et al // *Tetrahedron: Asymmetry.* – 2010. – Vol. 21. – P. 703-710. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tetasy.2010.04.002>.
50. Indenyl Rhodium Complexes with Arene Ligands: Synthesis and Application for Reductive Amination / V.B. Kharitonov et al // *Organometallics.* – 2018. – Vol. 37. – P. 2553-2562. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.8b00311>.
51. New insight into the role of a base in the mechanism of imine transfer hydrogenation on a Ru(II) half-sandwich complex / M. Kuzma et al // *Dalton Trans.* – 2013. – Vol. 42. – P. 5174-5182. DOI: <https://doi.org/10.1039/c3dt32733g>.
52. Fluorine/phenyl chelated boron complexes: Synthesis, fluorescence properties and catalyst for transfer hydrogenation of aromatic ketones / A. Kilic et al // *J. Fluorine Chem.* – 2014. – Vol. 62. – P. 9-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2014.03.004>.
53. Rhodium-catalyzed transfer hydrogenation with functionalized bis(phosphino)amine ligands / M. Aydemir et al // *Inorg. Chim. Acta* – 2013. – Vol. 398. – P. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ica.2012.12.005>.
54. Synthesis of ruthenium (II) complexes containing a dihydroperimidine-derived phosphine ligand and their application in transfer hydrogenation of ketones / Q. Fu et al // *Inorg. Chem. Commun.* – 2013. – Vol. 38. – P. 28-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.inoche.2013.10.013>.
55. Novel Neutral Phosphinite Bridged Dinuclear Ruthenium(II) Arene Complexes and their Catalytic Use in Transfer Hydrogenation of Aromatic Ketones: Xray Structure of a New Schiff Base, N<sub>3</sub>,N<sub>3</sub>'-Di-2-Hydroxybenzylidene- [2,2']bipyridinyl-3,3'-Diamine / M. Aydemir et al // *J. Mol. Catal. A: Chem.* – 2010. – Vol. 326. – P. 75-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2010.04.010>.
56. Raja N. Binuclear Ruthenium(II) Pyridazine Complex Catalyzed Transfer Hydrogenation of Ketones / N. Raja, R. Ramesh // *Tetrahedron Lett.* – 2012. – Vol. 53. – P. 4770-4774. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2012.06.119>.
57. The Application of Tunable Tridentate P-Based Ligands for the Ru(II)-Catalysed Transfer Hydrogenation of Various Ketones / N. Meric et al // *Appl. Organomet. Chem.* – 2014. – Vol. 28. – P. 803-808. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/aoc.3202>.
58. Zheng C. Transfer Hydrogenation with Hantzsch Esters and Related Organic Hydride donors / C. Zheng, S.L. You // *Chem. Soc. Rev.* – 2012. – Vol. 41. – P. 2498-2518. DOI: <https://doi.org/10.1039/C1CS15268H>.
59. Iridium-Catalyzed Hydrogenation of N-Heterocyclic Compounds under Mild Conditions by an Outer-Sphere Pathway / G.E. Dobereiner et al // *J. Am. Chem. Soc.* – 2011. – Vol. 133. – P. 7547-7562. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja2014983>.
60. Wang Y., Huang Z., Liu G., Huang Z. A New Paradigm in Pincer Iridium Chemistry: PCN Complexes for (De)Hydrogenation Catalysis and Beyond // *Acc. Chem. Res.*, – 2022. – Vol. 55. – P. 2148-2161. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.2c00311>

61. Grieco G., Blacque O. Solution and Solid-State Structure of the First NHC-Substituted Rhenium Heptahydrides // *Eur. J. Inorg. Chem.*, – 2019. – P. 3810-3819. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejic.201900712>
62. Renkema K.B. Mechanism of Alkane Transfer Dehydrogenation Catalyzed by a Pincer-Ligated Iridium Complex / K.B. Renkema, Y.V. Kissin, A.S. Goldman // *J. Am. Chem. Soc.* – 2003. – Vol. 125. – P. 7770-7771. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja0289200>.
63. Regioselective Gas-Phase n-Butane Transfer Dehydrogenation via Silica-Supported Pincer-Iridium Complexes / B. Sheludko et al // *Chem. Cat. Chem.* – 2021. – Vol. 13. – P. 407-415. DOI: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cctc.202001399>.
64. A suitable modified palladium immobilized on imidazolium supported ionic liquid catalysed transfer hydrogenation of nitroarenes / R. Shanmugapriya et al // *J. Organomet. Chem.* – 2021. – Vol. 49. – P. 121935. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jorganchem.2021.121935>.
65. Patil N.M. Immobilized Iron Metal-Containing Ionic Liquid-Catalyzed Chemoselective Transfer Hydrogenation of Nitroarenes into Anilines / N.M. Patil, T. Sasaki, B.M. Bhanage // *ACS Sustainable Chem. Eng.* – 2016. – Vol. 4. – P. 429-436. DOI: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01453>.
66. Coordinating Chiral Ionic Liquids: Design, Synthesis, and Application in Asymmetric Transfer Hydrogenation under Aqueous Conditions / M. Vasiloiu et al // *Eur. J. Org. Chem.* – 2015. – Vol. 11. – P. 2374-2381. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejoc.201403555>.
67. Preparation of Chiral Ligands Connected with Quaternary Ammonium Group for Recyclable Catalytic Asymmetric Transfer Hydrogenation in Ionic Liquid / H. Uchimoto et al // *Chem. Pharm. Bull.* – 2015. – Vol. 63. – P. 200-209. DOI: <https://doi.org/10.1248/cpb.c14-00747>.
68. Asymmetric Transfer Hydrogenation Reaction in Water: Comparison of Chiral Proline Amide/Amine Ruthenium (II) Complexes / S. Denizalti et al // *J. Organomet. Chem.* – 2015. – Vol. 779. – P. 62-66. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jorganchem.2014.12.023>.
69. Direct Synthesis of Hydrogen Peroxide in Water by Means of a Rh-Based Catalyst / S. Ogo et al // *Organometallics*. – 2020. – Vol. 39. – P. 3731-3741. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.organomet.0c00565>.
70. An Outstanding Catalyst for Asymmetric Transfer Hydrogenation in Aqueous Solution and Formic Acid/Triethylamine / D.S. Matharu et al // *Chem. Inform.* – 2006. – Vol. 37. – P. 49. DOI: <https://doi.org/10.1002/chin.200649028>.
71. Transfer Hydrogenation in Aqueous Media / Y. Wei et al // *Catal. Today*. – 2015. – Vol. 247. – P. 104-116. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2014.03.066>.
72. Das S. Organocatalytic Asymmetric Transfer Hydrogenation Reactions / S. Das, V.N. Wakchaure, B. List // *Asymm. Hyd. Trans. Hyd.* – 2021. – P. 339-373. DOI: <https://doi.org/10.1002/9783527822294.ch11>.
73. Robertson A. The Development of Aqueous Transfer Hydrogenation Catalysts / A. Robertson, T. Matsumoto, S. Ogo // *Dalton Trans.* – 2011. – Vol. 40. – P. 10304-10310. DOI: <https://doi.org/10.1039/C1DT10544B>.
74. Dehalogenation of organic halides in aqueous media by hydrogen transfer from formate catalyzed by water-soluble Ru(II)-N-heterocyclic carbene complexes / N. Marozsan et al // *J. Mol. Catal. A Chem.* – 2016. – Vol. 425. – P. 103-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2016.09.036>.
75. Khamis N. Heterocycle-containing Noyori-Ikariya catalysts for asymmetric transfer hydrogenation of ketones / N. Khamis, G.J. Clarkson, M. Will // *Dalton Trans.* – 2022. – Vol. 51. – P. 13462-13469. DOI: <https://doi.org/10.1039/D2DT02411J>.
76. Muniyappan P. Ru(II) complexes containing NOO donors of tridentate Schiff base ligands: Synthesis, characterization, crystal structure and catalytic activity in transfer hydrogenation of ketones / P. Muniyappan, V. Paranthaman, V. Galmari // *Chem. Inorg. Mat.* – 2023. – Vol. 1. – P. 100003. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cinorg.2023.100003>.
77. Gorgas N. Chemoselective transfer hydrogenation of aldehydes in aqueous media catalyzed by a well-defined iron(II) hydride complex / N. Gorgas, A. Ilic, K. Kirchner // *Springer Ser. Chem. Phys.* – 2019. – Vol. 150. – P. 121-126. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00706-018-2279-7>.
78. Water-Soluble Arene Ruthenium Complexes Containing a trans-1,2-Diaminocyclohexane Ligand as Enantioselective Transfer Hydrogenation Catalysts in Aqueous Solution / J. Canivet et al // *Eur. J. Inorg. Chem.* – 2005. – Vol. 22. – P.4493-4500. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejic.200500498>.



79. Ariger M.A. pH-Independent Transfer Hydrogenation in Water: Catalytic, Enantioselective Reduction of  $\beta$ -Keto Esters / M.A. Ariger, E.M. Carreira // *Org. Lett.* – 2012. – Vol. 14. – P. 4522-4524. DOI: <https://doi.org/10.1021/ol301903c>.
80. Wu X. Transfer Hydrogenation in Water / X. Wu, C. Wang, J. Xiao // *J. Chem. Soc.* – 2016. – Vol. 16. – P. 2772-2786. DOI: <https://doi.org/10.1002/tcr.201600089>.
81. Butler R.N. Water: Nature's Reaction Enforcer Comparative Effects for Organic Synthesis «In-Water» and «On-Water» / R.N. Butler, A.G. Coyne // *Chem. Rev.* – 2010. – Vol. 110. – P. 6302-6337. DOI: <https://doi.org/10.1021/cr100162c>.
82. Unexpectedly Fast Catalytic Transfer Hydrogenation of Aldehydes by Formate in 2-Propanol–Water Mixtures under Mild Conditions / I. Szatmari et al // *Catal. Today.* – 2015. – Vol. 247. – P. 14-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2014.06.023>.
83. Chen S.J. A Base-Controlled Chemoselective Transfer Hydrogenation of Alpha, Beta-Unsaturated Ketones Catalyzed by [IrCp\*Cl-2](2) with 2-Propanol / S.J. Chen, G.P. Lu // *RSC Adv.* – 2015. – Vol. 5. – P. 13208-13211. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5RA00484E>.
84. Bifunctional Rhenium Complexes for the Catalytic Transfer-Hydrogenation Reactions of Ketones and Imines / A. Landwehr et al // *Chem. Eur. J.* – 2012. – Vol. 18. – P. 5701-5714. DOI: <https://doi.org/10.1002/chem.201103685>.
85. Mechanistic Studies on Ruthenium(II)-Catalyzed Base-Free Transfer Hydrogenation Triggered by Roll-Over Cyclometalation / C. Kerner et al // *Chem. Eur. J.* – 2017. – Vol. 23. – P. 212-224. DOI: <https://doi.org/10.1002/cplu.201600526>.
86. Burling S. Direct and Transfer Hydrogenation of Ketones and Imines with a Ruthenium NHeterocyclic Carbene Complex / S. Burling, M.K. Whittlesey, J.M. Williams // *Adv. Synth. Catal.* – 2005. – Vol. 347. – P. 591-594. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/adsc.200404308>.
87. Long J. Transfer Hydrogenation of Unsaturated Bonds in the Absence of Base Additives Catalyzed by a Cobalt-Based Heterogeneous Catalyst / J. Long, Y. Zhou, Y. Li // *Chem. Commun.* – 2015. – Vol. 51. – P. 2331-2334. DOI: <https://doi.org/10.1039/C4CC08946D>.
88. Blaser H.U. Asymmetric Catalysis on Industrial Scale: Challenges, Approaches and Solutions / H.U. Blaser, H.J. Federsel // Eds. *Asymmetric Catalysis on Industrial Scale.* Wiley-VCH: Weinheim. – 2010. – P. 13-25. DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527630639>.
89. Ohkuma T. Advancement in Catalytic Asymmetric Hydrogenation of Ketones and Imines, and Development of Asymmetric Isomerization of Allylic Alcohols / T. Ohkuma, N. Arai // *TheChem. Rec.* – 2016. – Vol. 16. – P. 2201-2819. DOI: <https://doi.org/10.1002/tcr.201600101>.
90. Bullock R.M. Catalytic Ionic Hydrogenations / R.M. Bullock // *Chem. Eur. J.* – 2004. – Vol. 10. – P. 2366-2374. DOI: <https://doi.org/10.1002/chem.200305639>.
91. Dou X. Synthesis of Planar Chiral Shvo Catalysts for Asymmetric Transfer Hydrogenation / X. Dou, T. Hayashi // *Adv. Synth. Catal.* – 2016. – Vol. 358. – P. 1054-1058. DOI: <https://doi.org/10.1002/adsc.201501162>.
92. Ruthenium-Catalyzed E-Selective Partial Hydrogenation of Alkynes under Transfer-Hydrogenation Conditions using Paraformaldehyde as Hydrogen Source / M.N. Fetzer et al // *Chem. Cat. Chem.* – 2021. – Vol. 13. – P. 1317-1325. DOI: <https://doi.org/10.1002/cctc.202001411>.
93. Selective ruthenium-catalyzed methylation of 2-arylethanol using methanol as C1 feedstock / Y. Li et al // *Chem. Commun.* – 2014. – Vol. 50. – P. 14991-14994. DOI: <https://doi.org/10.1039/c4cc06933a>.
94. Discovery, Applications, and Catalytic Mechanisms of Shvo's Catalyst / B.L. Conley et al // *Chem. Rev.* – 2010. – Vol. 110. – P. 2294-2312. DOI: <https://doi.org/10.1021/cr9003133>.
95. Wang C. Hydrogenation of imino bonds with half-sandwich metal catalysts / C. Wang, B. Villamarcos, J. Xiao // *Chem. Commun.* – 2011. – Vol. 47. – P. 9773-9785. DOI: <https://doi.org/10.1039/c1cc12326b>.
96. J. Transition metal hydrides as active intermediates in hydrogen transfer reactions / G. Csajnyk et al // *J. Organomet. Chem.* – 2002. – Vol. 67. – P. 1657-1662. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-328X\(02\)01316-5](https://doi.org/10.1016/S0022-328X(02)01316-5).
97. Liu J. Efficient Aerobic Oxidation of Organic Molecules by Multistep Electron Transfer / J. Liu, A. Gudmundsson, J. Backvall // *Angew. Chem. Int. Ed.* – 2021. – Vol. 60. – P. 15686-15704. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.202012707>.

98. Verho O., Backvall J. Chemoenzymatic Dynamic Kinetic Resolution: A Powerful Tool for the Preparation of Enantiomerically Pure Alcohols and Amines / O. Verho, J. Backvall // J. Am. Chem. Soc. – 2015. – Vol. 137. – P. 3996-4009. DOI: <https://doi.org/10.1021/jacs.5b01031>.
99. Warner M.C. Shvo's Catalyst in Hydrogen Transfer Reactions / M.C. Warner, C.P. Casey, J. Backvall // Bifunc. Mol. Catal. – 2011. – Vol. 37. – P. 85-125. DOI: [https://doi.org/10.1007/3418\\_2011\\_7](https://doi.org/10.1007/3418_2011_7).
100. Varying the ratio of formic acid to triethylamine impacts on asymmetric transfer hydrogenation of ketones / X. Zhou et al // J. Mol. Catal. – 2012. – Vol. 357. – P. 133-140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2012.02.002>.
101. Muthaiah S. Acceptorless and Base-Free Dehydrogenation of Alcohols and Amines using Ruthenium-Hydride Complexes / S. Muthaiah, S.H. Hong // Adv. Synth. Catal. – 2012. – Vol. 354. – P. 3045-3053. DOI: <https://doi.org/10.1002/adsc.201200532>.
102. Mechanism of transfer hydrogenation of carbonyl compounds by zirconium and hafnium-containing metal-organic frameworks / M.S. Rahaman et al // J. Mol. Catal. – 2022. – Vol. 522. – P. 112247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2022.112247/>

### Information about financing

*This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (№ AP13068542).*

**С.Е. Тұрсынбек<sup>1\*</sup>, Х.С. Рафикова<sup>2</sup>, В.М. Дембицкий<sup>3</sup>, Д.С. Золотарева<sup>1</sup>, Е.О. Белянкова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Қазақ-Британ техникалық университеті,  
Қазақстан, Алматы, Төле би к-сі, 59

<sup>2</sup>Сәтбаев университеті,

Қазақстан, Алматы, Сәтбаев к-сі, 22

<sup>3</sup>Қолданбалы зерттеулер, инновациялар және кәсіпкерлік орталығы, Летбридж колледжі,  
Канада, Летбридж

\*e-mail: [erzhanovnasss@gmail.com](mailto:erzhanovnasss@gmail.com)

### ҚҰРАМЫНДА ФОСФИНИТ ЛИГАНДЫ БАР РУТЕНИЙ КАТАЛИЗАТОРЛАРЫНЫҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ ТРАНСФЕРЛІК ГИДРЛЕУДЕ ҚОЛДАНУ

*Трансферлік гидрлеу (ТГ) органикалық химиядағы, әсіресе фармацевтикалық препараттарды, агрохимиялық заттарды және жұқа химиялық заттарды синтездеудегі өте маңызды реакция болып табылады. Бұл әдіс сутегінің донорлықмолекуладан қанықпаған субстратқа ауысуын қамтиды, әдетте жоғары қысымды сутегі газын қажет ететін тікелей гидрлеуге қауіпсіз және ыңғайлы балама болады. ТГ жұмсақ жағдайларда бірнеше функционалдық топтарды таңдамалы түрде азайту қабілетімен ерекшеленеді, осылайша сезімтал функционалдық топтардың шамадан тыс азаю немесе зақымдалу қаупін азайтады. Бұл әдіс әсіресе асимметриялық синтезде құнды, мұнда хиральды катализаторлар дәрілік заттардың дамуы үшін маңызды болып табылатын энантиомерлік таза қосылыстарды алуға мүмкіндік береді.*

*Рутений кешендері асимметриялық ТГ кезіндегі тиімділігімен ерекше назар аудартады, олардың тұрақтылығы мен әртүрлі реакциялық орталарға бейімделуі оларды зертханалық масштабта да, өнеркәсіптік қолдану үшін де өте қолайлы етеді. Фосфинитті лигандтар ( $P(OR)R'_2$ ) олардың қасиеттерін жақсарту үшін комплекс синтезінде қолданылады. Бұл лигандтар металл орталықтарының электрондық және стерикалық қасиеттерін дәл баптай алатын қабілетімен танымал. Фосфор атомының электрон беретін табиғаты R және R' топтарындағы өзгергіштікпен үйлесіп, катализатордың қасиеттерін айтарлықтай реттеуге мүмкіндік береді. Бұл өзгеріс катализатордың белсенділігіне, селективтілігіне және тұрақтылығына әсер ете алады, сондай-ақ фосфинитті лигандтарды жетілдірілген каталитикалық жүйелерді жобалауда өте құнды етеді, сонымен қатар, осы лигандтармен қамтамасыз етілген стерикалық және электрондық модуляция рутений катализаторларының айналым жиілігін және жұмыс тұрақтылығын жақсартады, бұл оларды әртүрлі синтетикалық қолданбалар үшін тиімдірек және берік етеді.*

*Жұмыстың мақсаты – трансферлік гидрлеу саласындағы заманауи жаңалықтарды қарастыру.*

*Фосфинитті лигандтардың рутений катализаторларына интеграциялануы трансферлік гидрлеу саласындағы елеулі ілгерілеушілікті көрсетеді. Бұл катализаторлар жоғары тиімділікті, селективтілікті және тұрақтылықты көрсетеді, яғни асимметриялық синтезде өте маңызды.*

Зерттеудің әртүрлі сутегі көздерін, негіздерін және механизмдерін зерттеу ТГ процесін тереңірек түсінуге мүмкіндік берді.

**Түйін сөздер:** трансфертті гидрлеу, рутений катализаторы, фосфинитті лиганд, асимметриялық синтез, энантиоселективтілік, каталитикалық тиімділік, стерикалық және электронды қасиеттер.

**С.Е. Турсынбек<sup>1\*</sup>, Х.С. Рафикова<sup>2</sup>, В.М. Дембицкий<sup>3</sup>, Д.С. Золотарева<sup>1</sup>, Е.О. Белянкова<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup>Казахстанско-Британский технический университет,

Казахстан, Алматы, ул. Толе би 59

<sup>2</sup>Satbaev University,

Казахстан, Алматы, ул. Сатбаева 22

<sup>3</sup>Центр прикладных исследований, инноваций и предпринимательства,

Летбриджский колледж, Канада, Летбридж

\*e-mail: erzhanovnasss@gmail.com

## **СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФИНИТОВЫХ РУТЕНИЙ СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ В ТРАНСФЕРНОМ ГИДРИРОВАНИИ**

Трансфертное гидрирование (ТГ) является весьма важной реакцией в органической химии, особенно при синтезе фармацевтических препаратов, агрохимикатов и продуктов тонкой химии. Этот метод включает перенос водорода от донорной молекулы к ненасыщенному субстрату, предлагая более безопасную и удобную альтернативу прямому гидрированию, для которого обычно требуется газообразный водород под высоким давлением, что является небезопасным. ТГ выделяется своей способностью избирательно восстанавливать несколько функциональных групп в более мягких условиях, тем самым снижая риск чрезмерного восстановления или повреждения чувствительных функциональных групп. Этот метод особенно ценен в асимметричном способе получения веществ, где хиральные катализаторы позволяют получать энантиомерно чистые соединения, имеющие решающее значение для разработки фармацевтических лекарств.

Рутениевые комплексы особенно примечательны своей эффективностью при асимметричном трансфертном гидрировании. Их стабильность и адаптируемость к различным реакционным средам делают рутениевые комплексы идеальными как для лабораторного, так и для промышленного применения, они универсальны и могут использоваться для восстановления кетонов, альдегидов, иминов и нитрилов. Фосфинитовые лиганды ( $P(OR)R'2$ ) используются в синтезе комплексов для улучшения их свойств. Эти лиганды очень известны своей способностью тонко настраивать электронные и стерические свойства металлоцентров. Электронодонорная природа атома фосфора в сочетании с изменчивостью функциональных групп  $R$  и  $R'$  позволяет существенно настраивать свойства катализатора.

Цель работы – обзор современных открытий в области трансфертного гидрирования и исторических предпосылок ТГ.

Интеграция фосфинитных лигандов с рутениевыми катализаторами знаменует собой значительный прогресс в области трансфертного гидрирования. Эти катализаторы демонстрируют повышенную эффективность, селективность и стабильность, что имеет решающее значение в асимметричном синтезе, который важен для получения фармакологических препаратов и агрохимикатов. Изучение в ходе исследования различных источников, оснований и механизмов водорода позволило глубже понять процесс ТГ.

**Ключевые слова:** трансфертное гидрирование, рутениевый катализатор, фосфинитовый лиганд, асимметрический синтез, энантиоселективность, каталитическая активность, стерические и электронные свойства.

### **Information about the authors**

**Saniya Yerjanovna Tursynbek** – PhD student; e-mail: erzhanovnasss@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0492-5276>.

**Khadichahan Sabirzhanovna Rafikova** – Senior researcher, Doctor of Chemical Sciences, Associate professor, PhD; e-mail: hadichahan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8028-2244>.

**Valery Mikhailovich Dembitsky** – Professor, Doctor of Chemical Sciences; e-mail: valery.dembitsky@lethbridgecollege.ca. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4603-8704>.

**Darya Sergeevna Zolotareva** – scientific researcher; e-mail: zolotareva.2909@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4809-2616>.

**Yelizaveta Olegovna Belyankova** – scientific researcher; e-mail: belyankovae@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7418-0564>.

### Сведения об авторах

**Сания Ержановна Турсынбек** – докторант; e-mail: erzhanovnasss@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0492-5276>.

**Хадичахан Сабиржановна Рафикова** – старший научный сотрудник, ассоциированный профессор, PhD; e-mail: hadichahan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8028-2244>.

**Валерий Михайлович Дембицкий** – профессор, доктор химических наук; e-mail: valery.dembitsky@lethbridgecollege.ca. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4603-8704>.

**Дарья Сергеевна Золотарева** – научный сотрудник; e-mail: zolotareva.2909@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4809-2616>.

**Елизавета Олеговна Белянкова** – научный сотрудник; e-mail: belyankovae@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7418-0564>.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Сәния Ержанқызы Тұрсынбек** – докторант; e-mail: erzhanovnasss@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0492-5276>.

**Хадичахан Сабиржановна Рафикова** – аға ғылыми қызметкер, PhD, қауымдастырылған профессор; e-mail: hadichahan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8028-2244>.

**Валерий Михайлович Дембицкий** – профессор, химия ғылымдарының докторы; e-mail: valery.dembitsky@lethbridgecollege.ca. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4603-8704>.

**Дарья Сергеевна Золотарева** – ғылыми қызметкер; e-mail: zolotareva.2909@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4809-2616>.

**Елизавета Олеговна Белянкова** – ғылыми қызметкер; e-mail: belyankovae@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7418-0564>.

Received 22.05.2024

Revised 22.06.2024

Accepted 24.06.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-39](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-39)



MPHTI: 53.03.05

**А.К. Сейпиев<sup>1</sup>, А.А. Нурпейсова<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup>Институт аккумуляторов,

010000, Казахстан, г. Астана, пр. Кабанбай Батыра 53

<sup>2</sup>National Laboratory Astana, Назарбаев Университет,

010000, Казахстан, г. Астана, пр. Кабанбай Батыра 53

\*e-mail: arailym.nurpeissova@nu.edu.kz

## РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ СПОДУМЕНА

**Аннотация:** Эта статья представляет собой обширный обзор современных достижений в области извлечения лития из сподуменовых концентратов, что является ключевым аспектом в разработке этого важного ресурса. Статья начинается с детального описания химических и физических свойств  $\beta$ -сподумена, особенно акцентируя внимание на его значимости для процесса извлечения лития. Основное внимание уделяется разнообразным методам обработки сподумена, включая техники, такие как термическая обработка, кислотное и щелочное выщелачивание, а также более инновационные подходы, вроде использования растворителей и ионного обмена.

В статье освещаются не только технические аспекты каждого метода, но и их экономическая и экологическая устойчивость. Особое внимание уделяется экологическим и экономическим проблемам, связанным с извлечением лития, в том числе стремлению к минимизации отходов и повышению общей эффективности. Авторы также критически анализируют существующие ограничения, такие как высокие затраты и сложности масштабирования процессов.

Важной частью статьи является обзор и сравнение различных исследований и экспериментальных работ в этой области, с акцентом на те, которые успешно перешли от лабораторных исследований к реальному применению. Обсуждается текущее состояние исследований в области извлечения лития и выделяют потенциальные направления для будущих

исследований. Особое внимание уделяется необходимости дальнейшего развития и интеграции этих методов в условиях устойчивого развития и эффективного использования ресурсов.

**Ключевые слова:** литий; экстракция; сподумен; гидрометаллургия; пирометаллургия.

**Введение.** Литий, ключевой компонент литий-ионных аккумуляторов, может быть получен из различных источников, включая минералы (в основном сподумен), рассол из озер и соляных отложений, а также переработку отходов аккумуляторов. До второй мировой войны литиевого производства в СССР практически не существовало, но информация о том, что один из изотопов лития необходим, в качестве компонента ядерных вооружений, привело к организации работ по вовлечения в переработку литиевого сырья. Большую роль в этом процессе сыграли теоретические исследования, проводимые под руководством Плющева В. Ё [1,2] Особую значимость имеют работы, выполняемые в Химико-металлургическом институте Западно-Сибирского филиала АН СССР (Новосибирск), в настоящее время ИХТТМ СО РАН, где под руководством Лилеева И.С. была отработана технология переработки сподуменового сырья. Авторами в 1950 г. получена Сталинская премия за внедрение технологии выделения лития из сподумена на Красноярском химико-металлургическом заводе [3]. В последние годы сподумен привлекает внимание в качестве источника лития, поскольку только ресурсы рассола не могут удовлетворить растущий спрос [4]. Сподумен является самым распространенным литийсодержащим минералом в месторождениях твердых пород. Чаще всего он накапливается в позднемагматических образованиях с большим количеством летучих компонентов – пегматитах [5]. Природный  $\alpha$ -сподумен является огнеупорным минералом, и почти все практические методы извлечения требуют кальцинации в качестве предварительного этапа обработки для превращения его в менее огнеупорный  $\beta$ -сподумен. Салақджани, Сингх и Николоски [6] подробно объясняют необходимость предварительной обработки сподумена и структурные изменения, происходящие во время предварительной обработки. В отличие от твердого  $\alpha$ -сподумена  $\beta$ -сподумен хрупок и легко измельчается [7].

Отжиг  $\beta$ -сподумена с различными материалами и при различных условиях приводит к водорастворимым солям лития, которые легко растворяются или выщелачиваются из нерастворимого остатка. Различные химические реагенты также могут извлекать литий путем выщелачивания [8]. Спрос на литий привел к всплеску исследований ресурсов и методов извлечения для производства литиевых солей высокой чистоты. Наиболее мощные аккумуляторы и накопители устанавливаются в электрическом транспорте и востребованы в сфере возобновляемых источников энергии. Можно сказать, что относительно малогабаритные и долгоживущие аккумуляторы за последние десятилетия радикально изменили человеческую среду обитания [9].

Учитывая значимость сподумена как источника лития и его влияние на литиевый рынок, всеобъемлющий обзор всех экспериментальных методов извлечения лития из этого минерала, особенно последних разработок, будет очень информативным. В данной статье эти процессы классифицируются на две категории: пирометаллургические и гидрометаллургические методы. Пирометаллургические процессы в основном включают отжиг сподумена с химическим реагентом, за которым следует выщелачивание для разделения лития от нерастворимого материала [10, 11]. Гидрометаллургические процессы в основном связаны с извлечением путем выщелачивания [12]. Все большее внимание привлекает возможность переработки сподуменового сырья разложением расплавленным  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  при 290 °C [13]. Но впервые информация о таком способе извлечения лития с использованием сульфата аммония появилась в работе [14].

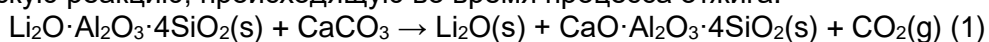
Из всех представленных методов, кислотная обработка с серной кислотой является проверенным, коммерческим процессом, используемым для извлечения лития из сподумена с 1950 года [15]. Однако важно улучшать существующие технологии и разрабатывать новые процессы для снижения производственных затрат и оптимизации выхода литиевых продуктов высокой чистоты.

Данная статья посвящена комплексному обзору существующих и новейших методов извлечения лития, акцентируя внимание на их эффективности, экономической целесообразности и влиянии на окружающую среду.

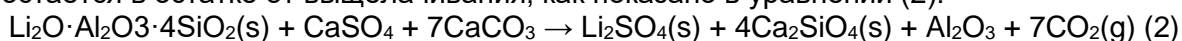
**Пирометаллургическая обработка.** Пирометаллургические процессы включают отжиг  $\alpha$ - или  $\beta$ -сподумена с использованием или без использования соответствующего реагента для разрушения структуры или обмена ионами лития с доступными ионами реагента, образуя водорастворимые соединения. Обычно после этой обработки следует выщелачивание отожженного материала водой.

*Процесс известкования.* Процесс известкования сподумена представляет собой ключевой этап в пирометаллургической обработке, заключающийся в отжиге минерала при температурах выше  $1000^{\circ}\text{C}$  в присутствии извести ( $\text{CaO}$ ) или известняка ( $\text{CaCO}_3$ ). Отжиг при таких высоких температурах приводит к разложению сподумена, за которым следует выщелачивание кальцием водой для растворения и извлечения солей лития [4].

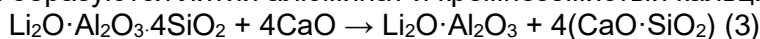
Оптимальные условия для процесса известкования были исследованы и определены как отжиг сподумена с частицами известняка при температурах от  $1000^{\circ}\text{C}$  до  $1230^{\circ}\text{C}$ . Это обеспечивает извлечение лития на уровне около 80%. Уравнение (1) ниже иллюстрирует химическую реакцию, происходящую во время процесса отжига:



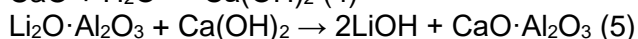
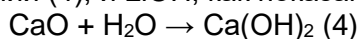
Дальнейшее улучшение процесса было достигнуто путем добавления гипса в смесь для дальнейшей переработки и использования  $\text{CaCl}_2$  для выщелачивания, вместо воды. При этом подходе извлечение лития повышается до 86%, особенно когда процесс проводится при температуре  $1100^{\circ}\text{C}$ . В этом случае литий восстанавливается в виде  $\text{LiCl}$ , в то время как  $\text{CaCO}_3$  остается в остатке от выщелачивания, как показано в уравнении (2):



Отжиг сподумена и извести протекает согласно следующей реакции, в результате которой образуются литий алюминат и кремнеземистый кальций:



Выщелачивание избытка  $\text{CaO}$  водой ведет к образованию  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , как показано в уравнении (4), и  $\text{LiOH}$ , как показано в уравнении (5):

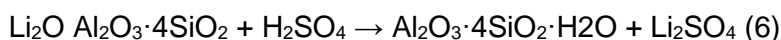


Таким образом, процесс известкования является важным и эффективным способом извлечения лития из сподумена, демонстрируя многообразие подходов в пирометаллургической обработке этого минерала. Вместе с тем, способ имеет серьезные недостатки. Он преимущественно применим к богатым литиевым концентратам, однако и в этом случае извлечение в готовый продукт не превышает 70%, что обусловлено ограниченной растворимостью гидроксида лития и способностью шламов после выщелачивания к схватыванию [16].

Завершая обзор процесса известкования, важно отметить, что методы термической обработки сподумена многообразны и могут значительно отличаться в зависимости от используемых химических реагентов и условий обработки. Примером другого подхода, который также акцентирует внимание на изменении структуры сподумена для облегчения извлечения лития, является кислотная обработка, описанный в следующем разделе.

*Кислотная обработка.* Кислотная обработка с серной кислотой является проверенным, коммерческим процессом, используемым для извлечения лития из сподумена с 1950 года [8]. Кислотная обработка сподумена, также известная как кислотная закалка, начинается с кальцинирования руды сподумена при температурах выше  $1000^{\circ}\text{C}$  [8]. Этот процесс преобразует  $\alpha$ -сподумен в более рыхлую структуру  $\beta$ -сподумена, облегчая доступ кислоты к литиевым ионам.

Основным этапом является обжиг смеси  $\beta$ -сподумена с концентрированной серной кислотой при температурах от  $200^{\circ}\text{C}$  до  $300^{\circ}\text{C}$ . В результате этого процесса образуется нерастворимый остаток и растворимый  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ , что облегчает их разделение с помощью водного выщелачивания. Соответствующая химическая реакция представлена уравнением (6):



Эффективность этого процесса зависит от множества факторов, включая массу и размер частиц образца, их распределение, а также условия обработки, такие как температура и перемешивание. Температуры выше  $225^{\circ}\text{C}$  обычно приводят к извлечению более 95% лития, однако температуры свыше  $300^{\circ}\text{C}$  могут негативно сказаться на процессе из-за

увеличения риска спекания. Реакция является экзотермической и требует только короткого периода нагревания [10].

Интересным недавним развитием в этой области является исследование метода обжарки с помощью микроволнового излучения, который показал потенциал для снижения потребления энергии и ускорения процесса, достигая 96% извлечения лития всего за 20 секунд облучения, как было указано у Балакина И.Г., Егоров А.М., Лаврентьев А.В. и др. [17].

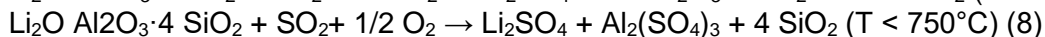
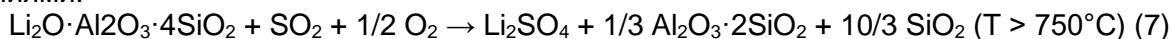
На промышленном уровне кислотная обработка используется для обработки сподумена с низким содержанием лития, достигая степени извлечения от 85% до 90%. Обычно сподумен с размерами частиц менее 74 мкм обрабатывается избытком серной кислоты (30% до 40%) и обжаривается при 250°C. После обжарки, избыточная кислота нейтрализуется известняком, и растворимый сульфат лития отделяется на стадии водного выщелачивания. Количество избыточной кислоты зависит от различных факторов, таких как размер частиц и распределение размеров, форма тигля, механическое перемешивание образца, температура и продолжительность процесса [11].

В целом, кислотная обработка представляет собой важный метод в спектре технологий обработки сподумена, демонстрируя разнообразие подходов к извлечению лития из этого ключевого минерала.

Эти изменения улучшают структуру и ясность раздела 2.2, обеспечивая более плавный переход от предыдущего раздела и подчеркивая важность кислотной обработки как альтернативного метода извлечения лития.

После рассмотрения кислотной обработки, который демонстрирует эффективность химической обработки в изменении структуры сподумена для извлечения лития, переходим к другому инновационному методу – сульфатизации. Этот метод отличается использованием газообразных реагентов и особых температурных условий, что подчеркивает разнообразие подходов в пирометаллургии сподумена.

**Сульфатизация.** Сульфатизация – это продвинутый метод обработки сподумена, основанный на использовании газообразного диоксида и триоксида серы (SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub>) для химического преобразования структуры сподумена при температуре около 800°C. В этом процессе литий извлекается в виде сульфата лития, а остаток содержит муллит и кристобалит [12]. Основные реакции, происходящие в сульфатизации, представлены следующими уравнениями:



Эффективность сульфатизации обусловлена несколькими факторами. Во-первых, температура обработки влияет на скорость и полноту реакций. Хотя более высокие температуры улучшают извлечение лития, они также могут привести к его утрате из-за плавления Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и спекания частиц. Вторым ключевым фактором является соотношение и концентрация газов в реакционной среде. Использование SO<sub>3</sub>, в частности, может повысить степень извлечения лития за счет усиления реакционной способности.

Недостатком сульфатного процесса является практически полная потеря алюминия с отвальным алюмосиликатным кеком, что обусловлено молекулярными преобразованиями сподумена в процессе его спекания сульфатом калия, исключая перевод алюминия в растворимое состояние [18].

Современные исследования сульфатизации направлены на уменьшение воздействия на окружающую среду, особенно в отношении выбросов SO<sub>2</sub>, который является токсичным и может нанести вред экосистемам. Технологии улавливания и переработки SO<sub>2</sub>, такие как каталитическое окисление или использование абсорбентов, могут быть интегрированы в процесс для снижения вредных выбросов.

Кроме того, важным аспектом является оптимизация размера частиц сподумена для улучшения эффективности процесса. Мельчайшие частицы обеспечивают более эффективный контакт с реагентами, что способствует более полному извлечению лития. Однако это также может увеличить риск агломерации и спекания частиц при высоких температурах.

Сульфатизация продолжает оставаться предметом активных исследований, с целью улучшения эффективности процесса и снижения экологического воздействия. Разработка более эффективных и экологически устойчивых методов может значительно повлиять на промышленное извлечение лития из сподумена в будущем.

После изучения сульфатизации, который демонстрирует важность газовой фазы в обработке сподумена, мы переходим к другому ключевому методу – хлорному отжигу. Этот метод отличается применением хлора в различных формах, что позволяет исследовать разнообразные пути химической обработки сподумена для извлечения лития.

*Хлорный отжиг.* Хлорный отжиг представляет собой процесс, в котором хлор используется в разных формах для обработки сподумена и извлечения лития. Этот метод включает использование хлорного газа, а также других источников хлорида, и характеризуется различными температурными и временными параметрами.

Хлорирование сподумена хлорным газом – это высокотемпературный процесс, проводимый при температурах выше 1000°C. Полученный LiCl может оставаться в виде жидкости в остатке или испаряться и собираться из реактора [15]. Остаточный материал содержит муллит и кристобалит, что указывает на сохранение алюминия и кремния в нерастворимой форме.

Интересный аспект процесса заключается в возможности добавления тонкого углерода, что позволяет снизить температуру до 600-1000°C. Эта добавка способствует экзотермической реакции углерода с кислородом, высвобождая тепло и способствуя разложению сподумена. В этом процессе образуются SiCl<sub>2</sub> и AlCl<sub>3</sub>, которые испаряются, в то время как LiCl остается в твердом состоянии [19]. Однако этот подход сопряжен с образованием CO, что представляет собой экологическую проблему и требует дополнительных мер контроля выбросов.

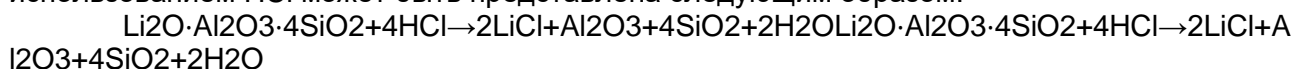
Альтернативные методы хлорирования включают использование HCl, KCl, NH<sub>4</sub>Cl и CaCl<sub>2</sub>. Эти процессы могут достигать высоких степеней извлечения лития, но имеют свои недостатки, включая коррозию оборудования, высокую стоимость и сложность в обращении с побочными продуктами, такими как CO. Например, использование HCl как реагента позволяет проводить хлорирование при более низких температурах, что может снизить энергетические затраты процесса. Тем не менее, управление выбросами HCl и CO остается сложной задачей. Аналогично, применение CaCl<sub>2</sub> предлагает возможность извлечения LiCl, однако высокая стоимость и технические сложности ограничивают его промышленное применение.

Хлорирование сподумена хлорным газом происходит при высоких температурах, обычно выше 1000°C. В этом процессе LiCl образуется в результате следующей химической реакции:



Этот LiCl может оставаться в жидком состоянии или испаряться для последующего сбора. Остаток, содержащий муллит и кристобалит, указывает на сохранение алюминия и кремния в нерастворимой форме. Добавка тонкого углерода позволяет снизить рабочую температуру за счет экзотермической реакции углерода с кислородом, но приводит к образованию CO.

Хлорирование с использованием альтернативных источников хлорида, таких как HCl, KCl, NH<sub>4</sub>Cl и CaCl<sub>2</sub>, может протекать при более низких температурах. Например, реакция с использованием HCl может быть представлена следующим образом:



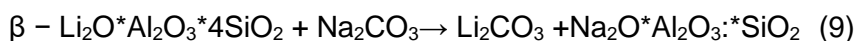
Эти процессы обеспечивают извлечение лития, но сопряжены с рисками коррозии оборудования, высокими эксплуатационными затратами и проблемами, связанными с образованием CO.

После рассмотрения различных методов хлорного отжига, которые демонстрируют разнообразие подходов к химической обработке сподумена, мы переходим к следующей важной теме: отжигу с добавлением натриевых солей и каустической соды. Эти методы представляют собой уникальные химические процессы, отличающиеся от предыдущих, и предоставляют новые возможности для извлечения лития из сподумена.

*Отжиг с добавлением натриевых солей и каустической соды.* Этот раздел исследует различные методы отжига сподумена с использованием натриевых солей и каустической соды. Эти методы предлагают уникальные подходы к извлечению лития, отличающиеся от более традиционных пирометаллургических и гидрометаллургических процессов.

Отжиг β-сподумена с Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> при температуре около 1200°C приводит к извлечению лития через твердотельную реакцию, образуя Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (уравнение (9)).





Температура выбрана таким образом, чтобы реагенты оставались твердыми, иначе соль будет задерживаться в жидкой фазе, что приведет к низкой выводу продукта [20].  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  является крупной молекулой, что ограничивает ее способность получить доступ ко всему литию в межузловых позициях  $\beta$ -сподумена. Чтобы извлечь оставшийся литий, предлагается добавить 5% масс. меньшей молекулы соли  $\text{NaCl}$ . Самое высокое извлечение, достигнутое с помощью этого метода, составило 71% после 120 минут обжарки при температуре около  $1200^\circ\text{C}$ . Схема процесса получения  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  показана на рисунке 1.

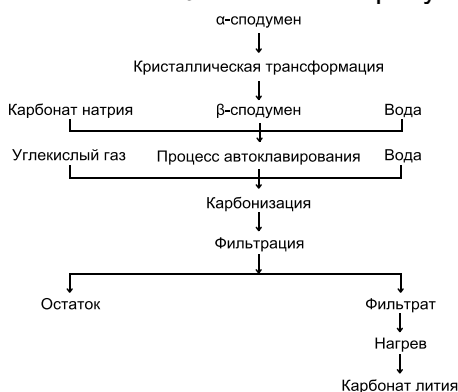


Рисунок 1 – Схематическая технологическая схема процесса отжига  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

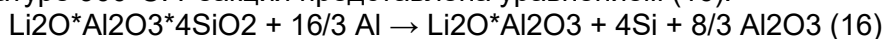
Отжиг литиевой руды, содержащей слюду и сподумен, с  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  при  $700^\circ\text{C}$  в течение 40 минут, за которой следовало выщелачивание водой, привела к извлечению 70,6%  $\text{Li}$  [21]. Авторы заметили, что образование  $\beta$ -сподумена начинается при  $700^\circ\text{C}$ , и санидин ( $\text{AlLiO}_8\text{Si}_3$ ) начинает формироваться при  $750^\circ\text{C}$ . Механическая активация смеси сподумена с  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  перед обжаркой не улучшила извлечение [22].

Использование фторида натрия ( $\text{NaF}$ ) представляет собой инновационный подход к извлечению лития. Ионный обмен, начинающийся при температуре около  $540^\circ\text{C}$ , способствует более эффективному извлечению лития из сподумена. Этот метод обладает потенциалом для снижения энергопотребления и увеличения эффективности извлечения лития, что делает его привлекательным для дальнейших исследований и промышленного применения.

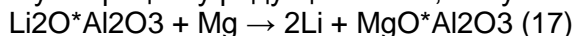
Исследования отжига с использованием нитрата натрия ( $\text{NaNO}_3$ ) и ацетата натрия ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$ ) показали, что эти соединения также могут быть использованы для извлечения лития. Хотя эти методы пока не получили широкого распространения, они представляют интерес для будущих исследований в сфере извлечения лития.

Отжиг со щелочью, в частности с гидроксидом натрия ( $\text{NaOH}$ ), представляет собой эффективный метод для извлечения лития. Этот процесс включает отжиг сподумена при температурах от  $400^\circ\text{C}$  до  $800^\circ\text{C}$  и позволяет извлекать литий в виде гидроксида, что утрачивает самостоятельный и приобретает вспомогательный характер – служит только целью подготовки сырья для последующей обработки кислотами [23].

**2.6 Металлотермический процесс восстановления.** В этом методе  $\beta$ -сподумен вступает в контакт с расплавленной смесью алюминия и магния в атмосфере аргона при температуре  $900^\circ\text{C}$ . Реакция представлена уравнением (16):



До 60% лития из начального сырья успешно извлекается, а затем извлеченный литий интегрируется в алюминиевый слиток, полученный в конце эксперимента. Магний способствует процессу редукции лития, как указано в уравнении (17) [24]:



В настоящее время метод кислотного обжига остается единственным коммерчески реализованным способом производства литиевых солей. Пирометаллургические методы, включающие высокотемпературные обработки, сопряжены с потенциальными трудностями и ограничениями, такими как образование газов, значительное энергопотребление и сложные операционные процедуры, что часто ограничивает их масштаб исследований до лабораторного уровня. Несмотря на это, собранные знания могут послужить ценным материалом для разработки более жизнеспособных процессов.

Таблица 1 – Пирометаллургические методы извлечения лития из сподумена.

Пирометаллургические методы извлечения лития из сподумена	Сырье	Добавки	Температ. диапазон °С	Разделение солей лития	Финальн. результат	Статус исследования
Кислотный отжиг	β-сподумен	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	200-300	Выщелачивание водой	HAISi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Индустриальный метод извлечения лития из сподумена
Сульфационный отжиг	β-сподумен	SO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>	800-900 225-425 (под давление м)	Выщелачивание водоразбавленной кислотой	Муллит/кristобалит	Лабораторный масштаб
	β-сподумен	Cl <sub>2(r)</sub>	1000-1100	Выщелачивание водой	Муллит/кristобалит	Лабораторный масштаб
	β-сподумен	HCl <sub>(r)</sub> KCl	550-800 980-1100	Выщелачивание водой	–	Лабораторный масштаб
Хлорный отжиг		NH <sub>4</sub> Cl	250-750	–	–	–
		CaCl <sub>2</sub>	800-1200	Собирание пара LiCl	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	–
		MgCl <sub>2</sub> -CaCl <sub>2</sub> 12H <sub>2</sub> O (тахигидрат)	550-1200	Выщелачивание водой и кислотой	Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> MgO Mg(OH) <sub>2</sub>	–
	α-сподумен	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	700-1200	Выщелачивание водой	NaAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	–
Отжиг натриевыми солями	β-сподумен	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +NaCl	850-1200	–	NaAlSiO <sub>4</sub>	Лабораторный масштаб
		NaF	600-800	Промывка водой и выщелачивание H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Альбит Нефелин	–
Щелочной отжиг	α-сподумен	NaOH	250-350	Выщелачивание водой	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Лабораторный масштаб
Процесс металлотермического восстановления	β-сподумен	Расплавленный алюминий-магний	>900	Выщелачивание водой	–	Лабораторный масштаб

В заключении, хотя металлотермический процесс восстановления показывает обещающие результаты в лабораторных условиях, он пока ограничен своим масштабом и сложностью. Это подчеркивает необходимость продолжения поиска более эффективных и практичных способов извлечения лития из сподумена, особенно в контексте устойчивого и экономически выгодного производства.

После изучения разнообразных пирометаллургических методов, которые представляют собой важные технологии для первичной обработки сподумена, мы переходим к другому важному аспекту извлечения лития – гидрометаллургическим методам. Эти методы включают использование различных растворителей и химических реакций для извлечения лития из обработанного минерала.

**Гидрометаллургическая обработка.** Гидрометаллургическая обработка сподумена осуществляется с использованием кислотных и щелочных систем выщелачивания. Основные результаты исследований в этой области суммируются в следующих подразделах.

**Кислотное выщелачивание.** Кислотное выщелачивание – это химический процесс, используемый для извлечения ценных металлов из руды или другого материала. В этом процессе используются кислоты для растворения целевых минералов или металлов, делая их доступными для дальнейшего восстановления и очистки.

Выщелачивание с использованием фтористоводородной кислоты (HF) является эффективным, но вызывает опасения по безопасности. HF способен разлагать  $\beta$ -сподумен и образовывать LiF, что может быть использовано в производстве криолита и гексафторокремнезема. Однако низкие требования к температуре и короткое время выщелачивания делают этот метод потенциально привлекательным. Такие факторы, как температура, время, кислотность, размер частиц и плотность пульпы, влияют на эффективность извлечения [25].

Сочетание HF и серной кислоты ( $H_2SO_4$ ) улучшает извлечение лития, ослабляя связи в структуре сподумена. Добавление  $H_2SO_4$  превращает нерастворимые фториды в сульфаты, что повышает эффективность процесса, как было указано у Самойлов В.И. Куленова Н.А., Владимиров А.Г. и др. [26].

Разработанный компанией Lithium Australia, процесс SiLeach® использует смесь  $CaF_2$  и  $H_2SO_4$ . Этот метод считается более безопасным и экономичным по сравнению с процессами, требующими более высоких температур.

Метод выщелачивания с использованием хлористоводородной кислоты (HCl) является одним из старейших подходов к извлечению лития из сподумена. Этот процесс достигает высокого извлечения лития, но детали остаются коммерческой тайной.

*Выщелачивание щелочными металлическими солями.* Выщелачивание щелочными металлическими солями было впервые предложено Линдбладом, Вальденом и Сивандером, и с тех пор было исследовано несколько различных щелочных металлических солей для выщелачивания. Из-за медленной реакции при атмосферном давлении выщелачивание этими реагентами проводится в герметичной емкости (автоклаве) при температурах до  $300^\circ C$ . 3.2.1. Выщелачивание с NaCl Выщелачивание сподумена с NaCl включает реакцию, при которой NaCl взаимодействует со сподуменом, образуя хлорид лития и гидрат силиката натрия и алюминия. Энергия активации этой реакции указывает на то, что скорость контролируется явлениями диффузии. Добавление  $Ca(OH)_2$  в раствор предотвращает образование слоя нерастворимых силикатов, которые могут негативно влиять на протекание реакции и задерживать удаленный литий. Оптимальное соотношение Na/Li в исследовании составляло 2,8. Увеличение температуры, времени и уменьшение размера частиц может увеличить извлечение лития. Однако этот метод не был дополнительно изучен с момента начального эксперимента.

Выщелачивание сподумена с  $Na_2CO_3$  включает реакцию, которая образует карбонат лития и силикат алюминия и натрия. Скорость реакции также контролируется явлениями диффузии. Увеличение температуры существенно влияет на извлечение лития, как и увеличение времени, концентрации выщелачивающего агента и уменьшение размера частиц. Оптимальная плотность пульпы и скорость перемешивания должны поддерживаться для обеспечения эффективного массопереноса между сподуменом и выщелачивающим реагентом.

В недавнем исследовании Куанг и соавторы [27] провели выщелачивание  $\beta$ -сподумена с использованием раствора  $Na_2SO_4$  для замены ионов  $Li^+$  на  $Na^+$ . Тем не менее, следует отметить, что добавление CaO или NaOH является стандартным условием для усиления процесса выщелачивания. Были результаты исследования различных факторов для оценки их эффективности при извлечении. Получены результаты, согласно которым допускается извлечение лития при температуре  $230^\circ C$  в течение 3 часов. Введение привело к значительному увеличению добычи, повышая его примерно с 25% (при отсутствии CaO или NaOH) до 90,76% CaO и 87,34% NaOH при добавлении в количестве 2% по массе относительно руды. Тогда как дополнительное добавление CaO не оказало заметного влияния на извлечение Li, увеличенного количества NaOH, повышенного уровня pH системы. Это повышение pH оказалось более благоприятным для взаимодействия между  $Li^+$  и остаточными компонентами [28], что привело к образованию виргилита ( $Li_xAl_xSi_3-xO_6$ ) в остаточной осадке. Оптимальный размер частиц, определенный в этом методе, составил примерно 40 мкм для размера частиц D90 (что означает, что 90% частиц проходят через этот размер). Уменьшение размера частиц ниже этого порога в 40 мкм привело к снижению эффективности экономики. Побочные продукты этого процесса обработки Анальцимом ( $NaAlSi_2O_6 \cdot H_2O$ ) и нереагировавшим  $\beta$ -сподуменом. соедини к остальным разделом плавно и со смыслом

Помимо традиционных химических методов выщелачивания, как описано выше, существуют и другие инновационные подходы к извлечению лития из сподумена. Одним из таких подходов являются биологические методы, которые представляют собой альтернативную стратегию извлечения лития, основанную на использовании микроорганизмов.

*Щелочные методы выщелачивания лития из сподумена.* Эдисон предложил метод извлечения лития из сподумена с использованием известковой смеси, нагреваемой при 77-82°C в течение 40-60 дней. В то же время Николсон достиг более 90% извлечения лития путем переваривания  $\beta$ -сподумена с известью и горячей водой при температурах между 100°C и 205°C и давлениях от 15 до 250 psi. Ановитц и др. запатентовали промышленный процесс, включающий реакцию сподумена с гидроксидом натрия или калия при 200°C-300°C. Кавецки и Коул сообщили о формировании  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  путем выщелачивания сподумена с  $\text{NaOH}$  при его точке кипения, затем переваривания и выщелачивания водой и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Катович достиг 99% извлечения лития при 240°C с соотношением 2,8 щелочного к сподумену после 4 часов выщелачивания. Процесс LieNA®, разработанный компанией Lithium Australia, извлекает литий из тонких хвостов сподумена путем реакции сподумена и каустической соды в автоклаве для образования литиевого содалита. Сонг и др. изучили щелочное выщелачивание  $\alpha$ -сподумена при температурах от 160°C до 250°C и обнаружили, что наибольшая скорость извлечения (> 90%) происходила при 250°C. Они также сообщили, что добавление 0,5% масс.  $\text{CaO}$  улучшает извлечение лития и приводит к образованию натрий-кальций цеолита ( $\text{NaCaHSiO}_4$ ). Увеличение времени выщелачивания и концентрации  $\text{NaOH}$  положительно влияет на извлечение лития, причем максимальное извлечение составляет 93,3% при 250°C в течение 6 часов с использованием концентрации  $\text{NaOH}$  400 г/л и соотношения жидкость/твердое вещество 7 мл/г.

Помимо традиционных химических методов выщелачивания, как описано выше, существуют и другие инновационные подходы к извлечению лития из сподумена. Одним из таких подходов являются биологические методы, которые представляют собой альтернативную стратегию извлечения лития, основанную на использовании микроорганизмов.

*Биологическое выщелачивание сподумена.* Сподумен проявляет нестабильность в естественных условиях, в зонах выветривания пегматитовых месторождений обнаруживаются различные микроорганизмы. Эти микроорганизмы могут ускорять выщелачивание  $\text{Li}$ ,  $\text{Al}$  и  $\text{Si}$  в химическом выщелачивании сподумена, образуя органические кислоты, такие как щавелевая кислота и лимонная кислота. Исследования биологического выщелачивания с использованием *Aspergillus niger* показали, что  $\alpha$ -сподумен относительно инертен, тогда как более высокие значения лития были получены из  $\beta$ -сподумена. Для биологического выщелачивания сподумена требуется дополнительное исследование для оценки его коммерческой жизнеспособности, поскольку степень извлечения лития около 7% после 30 дней выщелачивания может быть экономически неоправданной. Гидрометаллургические методы в основном включают выщелачивание  $\beta$ -сподумена, которое включает стадию кальцинации при температуре около 1000°C. Выщелачивание  $\alpha$ -сподумена с использованием  $\text{HF}$  или фторидов требует тщательного проектирования для безопасного обращения с  $\text{HF}$ . В таблице 2 подробно представлены гидрометаллургические процессы извлечения лития из сподумена.

После изучения различных методов выщелачивания, включая химические, щелочные и биологические подходы, следующий раздел представляет текущее состояние извлечения лития из сподумена. Этот раздел демонстрирует, как технологии развивались с течением времени и какие методы наиболее эффективно используются сегодня в промышленности.

**Текущее состояние извлечения лития из сподумена.** Современный рынок лития демонстрирует разнообразие источников его добычи. В настоящее время около 50% всего добытого лития происходит из рассолов, в то время как приблизительно 40% производится из литиевых минералов, главным образом сподумена. Оставшаяся часть, составляющая примерно 10%, добывается из глин и переработанных батарейных отходов. Это распределение подчеркивает значимость сподумена как важного источника лития на мировом рынке.

Таблица 2 – Гидрометаллургические методы извлечения лития из сподумена

Гидрометаллургические методы извлечения лития из сподумена	Сырье	Добавки	Температурный диапазон °С	Остаток
	α и β-сподумены	HF	70-100	Криолит анальцим из гексафторсиликата
Кислотное выщелачивание	α и β-сподумены	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +HF	~100	–
	α-сподумен	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +CaF <sub>2</sub> (Силикат)	~100	–
	β-сподумен	CHI	90-100	–
Выщелачивание солей щелочных металлов	β-сподумен	NaCl+CaOH	150-250	Анальцим
		Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	150-260	–
		Na <sub>2</sub> CO <sub>4</sub>	150-230	–
Щелочное выщелачивание	α и β-сподумены	NaOH	200-300	–
Биовыщелачивание	β-сподумен	Penicillium purpurogenum Aspergillus niger Rhodotorula	–	–

Доминирующим методом извлечения лития из сподумена остается кислотное обжигание с использованием концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Примером может служить ведущий китайский производитель литиевых солей, Jiangsu Lithium, который применяет этот метод для производства литиевых солей, нацеленных на рынок литий-ионных аккумуляторов. Аналогично, Nemaska Lithium в Канаде использует кислотное обжигание для производства высококачественного литиевого гидроксида.

Технологии извлечения лития продолжают развиваться. Компании Tianqi Lithium и Albemarle Kemerton в Западной Австралии начали производство LiOH, используя метод кислотного обжигания. Существуют и альтернативные методы, такие как частичное извлечение с использованием Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, реализованные на заводе в Квебеке, Канада. Эти методы демонстрируют разнообразие подходов к извлечению лития из сподумена.

Инновационные методы, такие как масштабные испытания Neometal с использованием HCl и пилотные испытания метода Sileach® от Lithium Australia, указывают на потенциал будущих технологий в этой области. Эти разработки могут привести к существенным изменениям в методах извлечения лития из-за растущего спроса и необходимости более экологически устойчивых процессов.

**Заключение:** Извлечение лития из сподумена привлекло значительное научное внимание в последние годы, открывая новые перспективы и методы для эффективного и экологически устойчивого получения этого ценного ресурса. Хотя традиционные методы, такие как декрепитация, кислотная обработка и водное выщелачивание, использовались более 50 лет, современные исследования стремятся улучшить эти процессы, снижая воздействие на окружающую среду и повышая эффективность.

Гидрометаллургические методы, особенно те, что применяются к β-сподумену, показали обнадеживающие результаты в увеличении скорости извлечения лития. Растворы натриевых солей, используемые в этих процессах, способствуют ионному обмену, минимизируя растворение других элементов и повышая чистоту конечного продукта. Инновационные методы, такие как SiLeach®, предлагают альтернативные подходы к гидрометаллургическому извлечению лития из α-сподумена, потенциально снижая энергопотребление и связанные риски.

Факторы, влияющие на извлечение лития, включают температуру, тип и дозировку реагента, время реакции, размер частиц, скорость перемешивания и плотность пульпы. Эти переменные требуют тщательной оптимизации для достижения эффективности в коммерческих процессах.

Экономическая целесообразность каждого метода зависит от скорости извлечения лития, затрат на обработку и рыночной стоимости конечного продукта, при этом затраты на очистку играют значительную роль в общей экономической эффективности.

В заключение, текущее и будущее исследование и разработка в области извлечения лития из сподумена продолжает быть ключевым аспектом для удовлетворения мирового спроса на литий. Учитывая растущую потребность в литии для энергетических решений, таких как литий-ионные батареи, эффективные и экологически устойчивые методы извлечения будут играть важную роль в устойчивом развитии и энергетической безопасности в будущем.

### Список литературы

1. Опытнo-промышленные испытания способа получения гидродиалюмината лития из необогащенного сподуменого сырья / И.С. Лилеев и др. // Химия и технология гидродиалюмината лития. – 1969. – Ч. 1. – С. 242-311.
2. Zelikman, A.N. Metallurgy of rare metals (translated from Russian) / A.N. Zelikman, O.E. Krein, G.V. Samsonov // DC: NASA and National Science Foundation. – 1966. P. 458.
3. Литиевые месторождения сподуменных пегматитов Сибири / Владимиров А.Г. и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – № 18. – 4 с.
4. Patent 2516109 United States, US4964748A. Method of extracting lithium values from spodumene ores / Ellestad R.B., Leute K.M.; Assignee: Metalloy Corp.; Filing Date: 09.16.1948; Publication Date: 07.25.1950. – 5 p.
5. Плющев В.Е. Химия и технология соединений лития, рубидия и цезия / В.Е. Плющев, Б.Д. Стенин. – Москва: Изд. Химия, 1970. – 187 с.
6. Salakjani N.K. Mineralogical transformations of spodumene concentrate from Greenbushes, Western Australia. Part 2: Microwave heating / N.K. Salakjani, A.N. Nikoloski, P. Singh // Minerals Engineering. – 2017. – Vol. 100. – P. 191-199. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2016.11.004>.
7. Лейбин В. Технологический шанс русского лития / В. Лейбин // Эксперт. – 2023. – № 27.
8. Salakjani N.K. Acid roasting of spodumene: Microwave vs. conventional heating / N.K. Salakjani, P. Singh, A.N. Nikoloski // Minerals Engineering. – 2019. – Vol. 138. – P. 161-167. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2019.05.003>.
9. Impact of the impurities on lithium extraction from  $\beta$ -spodumene in the sulfuric acid process/ F. Lajoie-Leroux et al // Minerals Engineering. – 2018. – Vol. 129. – P. 1-18. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2018.09.011>.
10. Patent 2972517 United States, US723459A. Method of producing lithium sulfate from alpha and beta spodumene / MacEwan; Application filed by Department OF MINES. Application granted 1961-02-21. Publication of US2972517A 1978-02-21.
11. Khamizov R.Kh. Features of the Hydrosulfate Method for Processing Alumina-Containing Raw Materials in a Closed Reagent Cycle / R.Kh. Khamizov et al // Applied science. – 2022. – № 12(21). – P. 11057. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122111057>.
12. Patent 2840455 United States, US395813A. Production of lithium carbonate / Dwyer Th. E.; Application filed by Tholand Inc.; Application granted 1958-06-24; Publication of US2840455A 1975-06-24.
13. Barbosa L.I. Kinetic study on the chlorination of  $\beta$ -spodumene for lithium extraction with  $\text{Cl}_2$  gas / L.I. Barbosa, N.G. Valente, J.A. González // Thermochim Acta. – 2013. – Vol. 557. – P. 61-67. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2013.01.033>.
14. Зеликман А.Н. Металлургия редких металлов: учебник для вузов / А.Н. Зеликман, Б.Г. Коршунов: 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1991 – 336 с.
15. Патент RU 2 663 021 С1 Российская Федерация, МПК C22B 26/12(2006.01) C22B 3/08(2006.01). Способ извлечения лития из сподумена / Балакина И.Г. и др.; заявитель и патентообладатель Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии; заявл. 2017.07.17; опубл. 218.08.01. – 6 с.
16. Плющев В.Е. Химия и технология соединений лития, рубидия и цезия: Монография / В.Е. Плющев, Б.Д. Степин. – М.: Химия, 1970. – 408 с.
17. Patent 265449 Canada. Chloride Production. A.J. MacDougall, 1926.
18. Santos L.L. Beta-spodumene: $\text{Na}_2\text{CO}_3$ : $\text{NaCl}$  system calcination: A kinetic study of the conversion to lithium salt / L.L. Santos, R.M. Nascimento, S.B.C Pergher // Chemical Engineering

- Research and Design. – 2019. – Vol. 147. – P. 338-345. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2019.05.019>.
19. Ekstraksi Litium dari  $\beta$  – Spodumen Hasil Dekomposisi Batuan Sekismika Indonesia Menggunakan Aditif Natrium Sulfat / N.C. Natasha et al // *Metalurgi*. – 2018. – № 2. – P. 69-78. DOI: <http://10.14203/metalurgi.v33i2.429>.
20. Setoudeh N. Enhancing lithium leaching by mechanical activation / N. Setoudeh, A. Nosrati, N.J. Welham // *Mongolian Journal of Chemistry*. – 2018. – Vol. 19, № 45. – P. 44-48. DOI: <http://dx.doi.org/10.5564/mjc.v19i45.1090>.
21. Химия и технология редких и рассеянных элементов. / Под ред. К.А. Большакова. – Т.2: Технология редких и рассеянных элементов. – М.: Высшая школа, 1969. – 43 с.
22. Mast, E. Lithium production from spodumene / E. Mast, 2002. – EDN FTMUMB.
23. Rosales G.D. Novel process for the extraction of lithium from  $\beta$ -spodumene by leaching with HF / G.D. Rosales, M.D.C. Ruiz, M.H. Rodriguez // *Hydrometallurgy*. – 2014. – Vol. 147-148. – P. 1-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.04.009>.
24. Патент 2361939 Российская Федерация, МПК С22В 26/12(2006.01), С22В 3/08(2006.01). Способ переработки концентрата бета-сподумена / Самойлов В.И. Куленова Н.А., Владимиров А.Г. и др.; заявитель и патентообладатель Институт геологии и минералогии Сибирского отделения РАН; заявл.: 2008.02.29; опубл. 2009.07.20, Бюл. № 20. – 5 с.
25. Extraction of lithium from  $\beta$ -spodumene using sodium sulfate solution / G. Kuang et al // *Hydrometallurgy* / – 2018 – Vol. 177. – P. 49-56. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.02.015>.
26. White G.D. Some aspects of the recovery of lithium from spodumene / G.D. White, T.N. McVay // *Metallurgy and Ceramics U. S. Atomic Energy Commission*. – 1958. – ORNL 2450, № 17. – P.1-17.

#### References

1. Opytno-promyshlennyye ispytaniya sposoba polucheniya gidrodialyuminata litiya iz neobogashchennogo spodumenovogo syr'ya / I.S. Lileev i dr. // *Khimiya i tekhnologiya gidrodialyuminata litiya*. – 1969. – CH. 1. – S. 242-311. (in Russian).
2. Zelikman, A.N. *Metallurgy of rare metals* (translated from Russian) / A.N. Zelikman, O.E. Krein, G.V. Samsonov // DC: NASA and National Science Foundation. – 1966. R. 458. (in English).
3. Litievyye mestorozhdeniya spodumenovykh pegmatitov Sibiri / Vladimirov A.G. i dr. // *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya*. – 2012. – № 18. – 4 с. (in Russian).
4. Patent 2516109 United States, US4964748A. Method of extracting lithium values from spodumene ores / Ellestad R.B., Leute K.M.; Assignee: Metalloy Corp.; Filing Date: 09.16.1948; Publication Date: 07.25.1950. – 5 p. (in English).
5. Plyushchev V.E. *Khimiya i tekhnologiya soedinenii litiya, rubidiya i tseziya* / V.E. Plyushchev, B.D. Stenin. – Moskva: Izd. Khimiya, 1970. – 187 s. (in Russian).
6. Salakjani N.K. Mineralogical transformations of spodumene concentrate from Greenbushes, Western Australia. Part 2: Microwave heating / N.K. Salakjani, A.N. Nikoloski, P. Singh // *Minerals Engineering*. – 2017. – Vol. 100. – P. 191-199. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2016.11.004>. (in English).
7. Leibin V. *Tekhnologicheskii shans russkogo litiya* / V. Leibin // *Ehkspert*. – 2023. – № 27. (in Russian).
8. Salakjani N.K. Acid roasting of spodumene: Microwave vs. conventional heating / N.K. Salakjani, P. Singh, A.N. Nikoloski // *Minerals Engineering*. – 2019. – Vol. 138. – P. 161-167. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2019.05.003>. (in English).
9. Impact of the impurities on lithium extraction from  $\beta$ -spodumene in the sulfuric acid process/ F. Lajoie-Leroux et al // *Minerals Engineering*. – 2018. – Vol. 129. – P. 1-18. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2018.09.011>. (in English).
10. Patent 2972517 United States, US723459A. Method of producing lithium sulfate from alpha and beta spodumene / MacEwan; Application filed by Department OF MINES. Application granted 1961-02-21. Publication of US2972517A 1978-02-21. (in English).
11. Khamizov R.Kh. Features of the Hydrosulfate Method for Processing Alumina-Containing Raw Materials in a Closed Reagent Cycle / R.Kh. Khamizov et al // *Applied science*. – 2022. – № 12(21). – R. 11057. DOI: <https://doi.org/10.3390/app122111057>. (in English).

12. Patent 2840455 United States, US395813A. Production of lithium carbonate / Dwyer Th. E.; Application filed by Tholand Inc.; Application granted 1958-06-24; Publication of US2840455A1975-06-24. (in English).
13. Barbosa L.I. Kinetic study on the chlorination of  $\beta$ -spodumene for lithium extraction with  $\text{Cl}_2$  gas / L.I. Barbosa, N.G. Valente, J.A. González // *Thermochim Acta*. – 2013. – Vol. 557. – R. 61-67. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2013.01.033>. (in English).
14. Zelikman A.N. *Metallurgiya redkikh metallov: uchebnik dlya vuzov* / A.N. Zelikman, B.G. Korshunov: 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Metallurgiya, 1991 – 336 c. (in Russian).
15. Patent RU 2 663 021 C1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C22B 26/12(2006.01) C22B 3/08(2006.01). Sposob izvlecheniya litiya iz spodumena / Balakina I.G. i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' Vedushchii nauchno-issledovatel'skii institut khimicheskoi tekhnologii; zayavl. 2017.07.17; opubl. 218.08.01. – 6 s. (in Russian).
16. Plyushchev V.E. *Khimiya i tekhnologiya soedinenii litiya, rubidiya i tseziya: Monografiya* / V.E. Plyushchev, B.D. Stepin. – M.: Khimiya, 1970. – 408 s. (in Russian).
17. Patent 265449 Canada. Chloride Production. A.J. MacDougall, 1926. (in English).
18. Santos L.L. Beta-spodumene: $\text{Na}_2\text{CO}_3$ : $\text{NaCl}$  system calcination: A kinetic study of the conversion to lithium salt / L.L. Santos, R.M. Nascimento, S.B.C. Pergher // *Chemical Engineering Research and Design*. – 2019. – Vol. 147. – R. 338-345. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2019.05.019>. (in English).
19. Ekstraksi Litium dari  $\beta$  – Spodumen Hasil Dekomposisi Batuan Sekismika Indonesia Menggunakan Aditif Natrium Sulfat / N.C. Natasha et al // *Metalurgi*. – 2018. – № 2. – R. 69-78. DOI: <http://10.14203/metalurgi.v33i2.429>. (in English).
20. Setoudeh N. Enhancing lithium leaching by mechanical activation / N. Setoudeh, A. Nosrati, N.J. Welham // *Mongolian Journal of Chemistry*. – 2018. – Vol. 19, № 45. – R. 44-48. DOI: <http://dx.doi.org/10.5564/mjc.v19i45.1090>. (in English).
21. *Khimiya i tekhnologiya redkikh i rasseyannykh ehlementov.* / Pod red. K.A. Bol'shakova. – T.2: *Tekhnologiya redkikh i rasseyannykh ehlementov.* – M.: Vysshaya shkola, 1969. – 43 s. (in Russian).
22. Mast, E. Lithium production from spodumene / E. Mast, 2002. – EDN FTMUMB. (in English).
23. Rosales G.D. Novel process for the extraction of lithium from  $\beta$ -spodumene by leaching with HF / G.D. Rosales, M.D.C. Ruiz, M.H. Rodriguez // *Hydrometallurgy*. – 2014. – Vol. 147-148. – R. 1-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.04.009>. (in English).
24. Patent 2361939 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C22B 26/12(2006.01), C22B 3/08(2006.01). Sposob pererabotki kontsentrata beta-spodumena / Samoilov V.I. Kulenova N.A., Vladimirov A.G. i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' Institut geologii i mineralogii Sibirskogo otdeleniya RAN; zayavl.: 2008.02.29; opubl. 2009.07.20, Byul. № 20. – 5 s. (in Russian).
25. Extraction of lithium from  $\beta$ -spodumene using sodium sulfate solution / G. Kuang et al // *Hydrometallurgy* / – 2018 – Vol. 177. – R. 49-56. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.02.015>. (in English).
26. White G.D. Some aspects of the recovery of lithium from spodumene / G.D. White, T.N. McVay // *Metallurgy and Ceramics U. S. Atomic Energy Commission*. – 1958. – ORNL 2450, № 17. – R.1-17. (in English).

### **Информация о финансировании**

*Работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования Комитета науки МНВО РК (грант №AP13068098 «Получение литиевых композитов батарейного класса из казахстанского сподумена»).*

**А.К. Сейпиев<sup>1</sup>, А.А. Нурпейсова<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup>Аккумуляторлар институты,

010000, Қазақстан, Астана, Қабанбай Батыра даңғылы, 53

<sup>2</sup>National Laboratory Astana ЖМ, Назарбаев Университет,

010000, Қазақстан, Астана, Қабанбай Батыр даңғылы, 53

\*e-mail: arailym.nurpeissova@nu.edu.kz

### **СПОДУМЕНЕН ЛИТИЙДІ АЛУДЫҢ ӘРТҮРЛІ ӘДІСТЕРІ**

*Бұл мақала осы маңызды ресурсты дамытудың негізгі аспектісі болып табылатын сподумен концентраттарынан литий алу саласындағы заманауи жетістіктерге кең шолу болып*



табылады. Мақала  $\beta$ -сподуменнің химиялық және физикалық қасиеттерін егжей-тегжейлі сипаттаудан басталады, әсіресе оның литий алу процесіндегі маңыздылығына назар аударады. Сподуменді өңдеудің әртүрлі әдістеріне, соның ішінде термиялық өңдеу, қышқыл және алкалий шаймалау сияқты әдістерге, сондай-ақ еріткіштер мен ион алмасуды қолдану сияқты инновациялық тәсілдерге назар аударылады.

Мақалада әр әдістің техникалық аспектілері ғана емес, сонымен қатар олардың экономикалық және экологиялық тұрақтылығы да қамтылған. Литийді қалпына келтіруге байланысты экологиялық және экономикалық мәселелерге, соның ішінде қалдықтарды азайтуға және жалпы тиімділікті арттыруға бағытталған. Авторлар сонымен қатар жоғары шығындар мен процестерді масштабтау қиындықтары сияқты бар шектеулерді сыни тұрғыдан талдайды.

Мақаланың маңызды бөлігі-осы саладағы әртүрлі зерттеулер мен эксперименттік жұмыстарға шолу және салыстыру, зертханалық зерттеулерден нақты қолдануға сәтті көшкендерге баса назар аудару. Литий алу саласындағы зерттеулердің қазіргі жағдайы талқыланады және болашақ зерттеулер үшін әлеуетті бағыттарды көрсетеді. Ресурстарды тұрақты дамыту және тиімді пайдалану жағдайында осы әдістерді одан әрі дамыту және интеграциялау қажеттілігіне ерекше назар аударылады.

**Түйін сөздер:** литий; экстракция; сподумен; гидрометаллургия; пирометаллургия.

**A.K. Seipiyev<sup>1</sup>, A.A. Nurpeissova<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Batteries LLP,

010000, Kazakhstan, Astana, 53 Kabanbay Batyr Ave.

<sup>2</sup>National Laboratory Astana, Nazarbayev University,  
010000, Kazakhstan, Astana, 53 Kabanbay Batyr Ave.,

\*e-mail: arailym.nurpeissova@nu.edu.kz

## VARIOUS WAYS OF EXTRACTION OF LITHIUM FROM SPODUMENE

*This article provides an extensive review of the current advances in the extraction of lithium from spodumene concentrates, a key aspect in the development of this important resource. The article begins with a detailed description of the chemical and physical properties of  $\beta$ -spodumene, particularly emphasizing its importance to the lithium extraction process. The focus is on a variety of methods for processing spodumene, including techniques such as thermal treatment, acid and alkali leaching, as well as more innovative approaches such as solvent utilization and ion exchange.*

*The article highlights not only the technical aspects of each technique, but also their economic and environmental sustainability. Particular attention is paid to the environmental and economic challenges associated with lithium extraction, including the desire to minimize waste and improve overall efficiency. The authors also critically analyze existing limitations such as high costs and process scaling difficulties.*

*An important part of the article is a review and comparison of various research and experimental works in this field, with an emphasis on those that have successfully moved from laboratory studies to real-world applications. The current state of research in lithium extraction is discussed and potential directions for future research are highlighted. Emphasis is placed on the need to further develop and integrate these techniques in the context of sustainable development and efficient resource utilization.*

**Key words:** lithium; extraction; spodumene; hydrometallurgy; pyrometallurgy.

### Сведения об авторах

**Адилхан Кайратович Сейпиев** – магистр; ТОО «Институт аккумуляторов», Казахстан; e-mail: adilol98@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2899-1529>.

**Арайлым Ахметбекқызы Нурпейсова\*** – Доктор философии в области энергетических наук и технологий; ТОО «Институт аккумуляторов», ЧУ National Laboratory Astana, Назарбаев Университет, Казахстан; e-mail: arailym.nurpeissova@nu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9657-2964>.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Адилхан Кайратович Сейпиев** – магистр; «Аккумуляторлар институты» ЖШС, Қазақстан; e-mail: adilol98@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2899-1529>.

**Арайлым Ахметбекқызы Нурпейсова\*** – Энергетика ғылымдары және технологиялар саласындағы философия докторы; «Аккумуляторлар институты» ЖШС, National Laboratory Astana ЖМ, Назарбаев Университет, Қазақстан; e-mail: arailym.nurpeissova@nu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9657-2964>.

### Information about the authors

**Adilkhan Seipyiev** – Master; Institute of Batteries LLP, Kazakhstan; e-mail: adilol98@gmail.com.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2899-1529>.

**Arailym Nurpeissova\*** – Doctor in Energy Sciences and Technologies; Institute of Batteries LLP, PI National Laboratory Astana, Nazarbayev University, Kazakhstan; e-mail: arailym.nurpeissova@nu.edu.kz.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9657-2964>.

Поступила в редакцию 13.02.2024

Поступила после доработки 01.07.2024

Принята к публикации 03.07.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-40](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-40)



MPHTI: 61.31.57

**М.Н. Ишанова\***, **А.А. Кадирбаева**<sup>1</sup>, **А.Ф. Минаковский**<sup>2</sup>, **Н.К. Сагымбекова**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова,  
160001, Республика Казахстан, г. Шымкент, проспект Тауке хана 5,

<sup>2</sup>Белорусский Государственный технологический университет,  
220006, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Свердлова, 13а

\*e-mail: ishanova.marzhan@mail.ru

## ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ АКТИВАЦИИ БЕНТОНитОВОЙ ГЛИНЫ ДАРБАЗИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Аннотация:** В нашей стране проблема очистки воды остается актуальной, причем этому способствует рост внешних факторов, к которым можно отнести увеличение количества промышленных предприятий, развитие сельского хозяйства, рост городов и другие. Цель. Для решения проблемы очистки сточной воды экономически выгодно создание новых сорбентов, из имеющихся в нашей стране ресурсов. Для обработки бентонитовой глины в экспериментальных условиях были выбраны инструментальные методы испытаний с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) марки Jeol JSM-6490I V, ИК-Фурье спектрометр NEXUS E.S.P. (Thermo Scientific, США), лазерный анализатор размеров частиц Analizette 22 MicroTec (Fritsch GmbH, Германия). По результатам инструментальных исследований определен элементный и минералогический состав бентонитовой глины из Дарбазинского месторождения с использованием сканирующего растрового электронного микроскопа и ИК-Фурье спектрометра. Полученный сорбент на основе бентонитовой глины имеет высокую сорбционную способность и рекомендуется применять при очистке сточных вод химических производств. Полученный сорбент на основе бентонитовой глины из Дарбазинского месторождения позволяет очистить сточные воды различных производств содержащих ионы тяжелых металлов до 95%. Разработанный сорбент на основе бентонитовой глины имеет экологическую и экономическую эффективность, связи с использованием местных природных ресурсов. Таким образом, следует отметить, что для адсорбционной очистки сточных вод химических производств с высокой степенью возможно использование эффективных сорбентов на основе бентонитовых глин Дарбазинского месторождения. Также следует отметить, что использование бентонитовых глин для очистки воды процессом сорбции является эффективной и доступной альтернативой адсорбентов, которые показывают высокую адсорбционную емкость по отношению к различным соединениям.

**Ключевые слова:** бентонит, месторождение Дарбаза, монтмориллонит, адсорбция, тяжелые металлы, сорбционная емкость, глина.

### Введение

Одной из наиболее острых экологических и экономических проблем нашего времени является загрязнение и низкое качество очистки сточных вод. Причиной большого запаса загрязненных сточных вод является ежегодное увеличение промышленных предприятий, а также значительные перегрузки уже имеющихся очистных сооружений. Следует отметить, что из общего количества водозабора воды, на производственные нужды вода потребляется больше, чем на хозяйственно-питьевые. Многочисленные исследования показывают, что широко распространенной проблемой загрязнения природных сред – атмосферы, почвы, воды, растений и животных является загрязнение тяжелыми металлами. Важным для

исследования является положение о том, что тяжелые металлы по токсичности занимают второе место в загрязнении окружающей среды и составляют группу наиболее опасных загрязнителей биосферы [1]. В нашей стране, для увеличения эффективности в использовании водных ресурсов необходимо повышение качества сбрасываемых сточных вод, поэтому важно не только использование современных норм и стандартов, но также поиск, разработка и внедрение новых идей и подходов к контролю поступающих загрязняющих веществ и к методам очистки сточных вод. Качественная очистка сбрасываемых сточных вод составляет основу систем оборотного водоснабжения предприятий, что, в свою очередь, приведет к повышению уровня повторного использования вод [2]. По литературному обзору известно, что в настоящее время одним из перспективных решений данной проблемы выступает метод осадительной очистки реагентом - гидроксид железа, но данный метод не является универсальным и не всегда достигается полное извлечение примесей до нужной нормы [3]. Следует отметить, что применение реагентного способа очистки сточных вод часто приводит ко вторичному их загрязнению и требует дополнительных материальных затрат. Несмотря на многочисленные исследования в области очистки сточных вод, проблема поиска эффективных и доступных сорбентов остается все еще актуальной. В настоящее время широко применяются сорбенты природного происхождения, которые сейчас исследуются в качестве природного минерального сырья в качестве сорбентов для извлечения ионов тяжелых металлов из загрязненных вод. Казахские природные материалы (бентонит, цеолит, вермикулит, диатомит) по своим физико-химическим характеристикам соответствуют требованиям, предъявляемым к сырью для производства высокоэффективных материалов – адсорбентов, а также композиционных материалов для многофункционального назначения. Заслуживает быть отмеченным широко применяемый метод сорбционной очистки, который позволяет применять природные сорбенты для очистки сточных вод. Вместе с тем следует подчеркнуть, что природные материалы не вносят загрязнения в окружающую среду. Дешевым и экологически чистым природным материалом являются глины. Они обладают высокими сорбционными свойствами, которые можно улучшить путем активации глины. Бентонитовые глины представляют собой горные породы минеральных пород, которые на 70% состоят из минерала монтмориллонит ( $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$ ). Бентонит по своему происхождению представляет сложный минерал, имеющий формулу  $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ , в данной формуле кремний может заменяться на различные катионы. Химический состав нашей глины Дарбазинского месторождения  $SiO_2$  – 37,12%,  $Al_2O_3$  – 15,62%,  $Fe_2O_3$  – 11,52%. Монтмориллонит обладает слоистой кристаллической структурой, высокой дисперсностью и ярко выраженной способностью к адсорбции, обмену катионов. Его кристаллическая структура (трехслойный пакет) характеризуется способностью к изоморфным замещениям в пределах кристаллической решетки в октаэдрическом слое:  $Al^{3+} \rightarrow Mg^{2+} \rightarrow Fe^{2+} \rightarrow Zn^{2+} \rightarrow Li^+$ . Промежутки между слоями элементарных пакетов и межпакетные промежутки структуры монтмориллонита рассматриваются как микропоры. По особенностям пористой структуры монтмориллонит относится к слоистым силикатам с пористой структурной ячейкой. Следовательно, величина межпакетного расстояния, промежутки между слоями элементарных пакетов не постоянны и меняются в зависимости от количества и вида поглощаемого вещества.

В Южном Казахстане разведано несколько бентонитовых месторождений с балансовыми запасами. В Южном Казахстане насчитывается около пяти месторождений – это Дарбазинское и Келесское месторождения, суммарные запасы которых составляют 58,0 млн. т; Андреевское, Дзержинское, Ильдерсайское – общие запасы более 100 млн. т.

В данной работе исследовали бентонитовую глину Дарбазинского месторождения, которая обладает хорошими сорбционными свойствами. Месторождение Дарбаза находится на юге Казахстана, в Сарыагашском районе, село Дарбаза.

Исходная бентонитовая глина обладает низкой сорбционной способностью, которую можно повысить с помощью активации [4]. Известно огромное количество методов активации, поэтому наша задача выбрать самый оптимальный метод активации. Как показывают исследования, доминирующим процессом при активации глины является замена в глинистой составляющей двухвалентных ионов кальция и магния на одновалентный ион щелочного металла. Образующийся в ходе ионного обмена карбонат кальция (магния) может образовывать неорганические отложения, которые осаждаются из водных композиций этих активированных бентонитов [5].

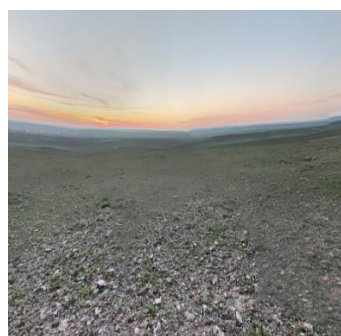
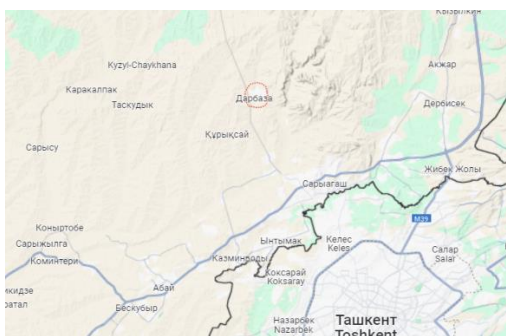


Рисунок 1 – Дарбазинское месторождение

Целью настоящей работы является изучение методов активации бентонитовой глины, определение сорбционно-обменной емкости по йоду и хлороводородной кислоте, и дальнейшее исследование сорбентов по отношению к ионам тяжелых металлов.

### Экспериментальная часть

В результате исследований был определен химический состав бентонита с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM6490LV. Элементный состав бентонита приведен в таб.1.

Таблица 1 – Элементный состав бентонитовой глины месторождения Дарбаза

Элемент	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe
Весовой %	50,07	1,08	1,35	12,5	23,9	1,70	0,42	0,32	6,70
Соединение		Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Весовой %		1,25	1,69	15,62	37,12	2,05	0,6	0,59	11,52

Из элементного состава образца видно, что в бентоните преобладают оксиды кремния и алюминия. Также в бентоните в достаточном количестве присутствует оксид железа. Природные глинистые адсорбенты, бентониты, крайне редко встречаются в чистом виде и, как правило, содержат примеси, сопутствующие минералы, карбонаты и сульфаты, гидроксиды, оксиды и другие. В связи с этим для их удаления, адсорбенты подсушивают, измельчают и просеивают.

На ИК-Фурье спектрометре NEXUS E.S.P. (Thermo Scientific, США) выполнены исследования спектров поглощения исходного минерала Дарбазинского месторождения.

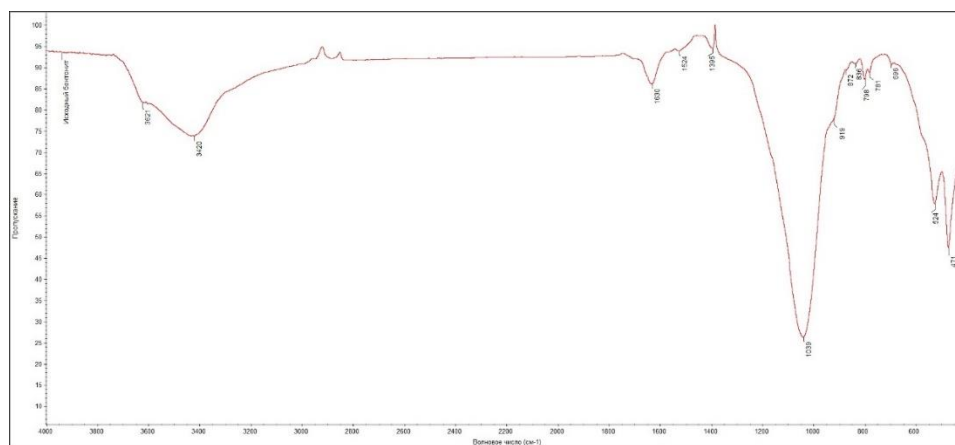


Рисунок 2 – ИК- спектры исходного бентонита месторождения Дарбаза

ИК- спектры исходного образца бентонита месторождения Дарбаза характеризуются основными интенсивными спектрами поглощения алюмосиликатных составляющих. При расшифровке спектров можно наглядно увидеть, что проба глины состоит из характерных спектров поглощения 1020-1040 см<sup>-1</sup> алюмосиликатных групп типа Al-O-Si. Единичные спектры в области 950-1050 см<sup>-1</sup> характерны для основной группы Si-O.

Одной из важных характеристик при исследовании минералогического состава сорбента является его дисперсность. Нам известно, что основной составляющей бентонита является глинистый материал, а также присутствуют обломки кварца полевого шпата, мусковита, остатки диатомита и фосфоритов. На рисунке 3 приведен дисперсный состав бентонита Дарбазинского месторождения.

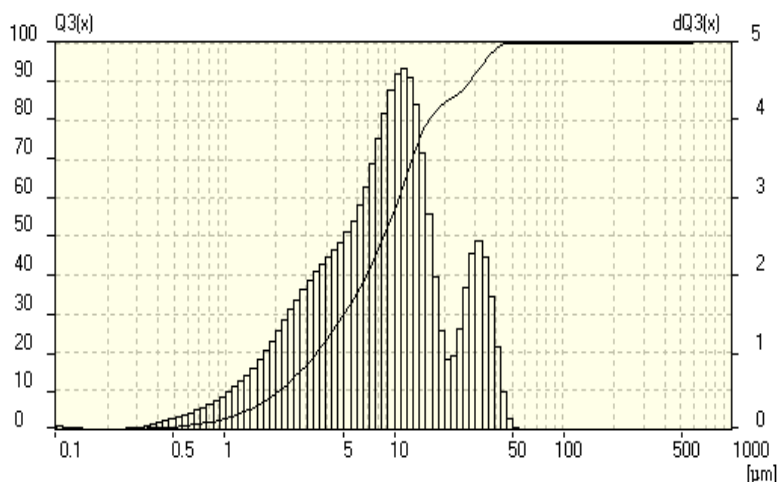


Рисунок 3 – Дисперсный состав бентонита Дарбаза

Определение дисперсности показало, что основная масса (более 90%) бентонитовой глины состоит из частиц размером 0,01-0,001 мм, а размеры оставшихся частиц находятся в пределах 0,1-0,01мм. Лучшим сортом бентонитовой глины, которая обладает высокими сорбционными свойствами считаются размеры частиц 0,001мм, которому соответствует исследуемый нами образец.

Для количественной оценки адсорбционной активности бентонита необходимо определить его сорбционно-обменную емкость. Методы с использованием адсорбции реагентов из растворов интересны с точки зрения удобства осуществления экспериментов и объективности получаемых данных. Опираясь на данные научной литературы [6,7], важным для исследования при изучении геометрической структуры и текстурных характеристик поверхности бентонитов является метод, основанный на определении количества адсорбции из водных растворов неорганических и органических веществ т.к. йод, фенол, алкилбензолсульфонат, различные ПАВ, метиленовый синий (МС), метаниловый желтый (МЖ) и др. [8, 9].

Для определения общей способности исследуемого образца бентонита к адсорбции определяли статическую сорбционную емкость, адсорбцию по хлороводородной кислоте и по йоду. Для определения сорбционной емкости отобрана проба исходной глины, а также проведена термическая обработка нативной глины при различных температурах от 100<sup>0</sup> до 800<sup>0</sup> С. Полученные результаты экспериментов по определению сорбционной емкости приведены на рисунке 4.

По полученным результатам наблюдаем, что сорбционная емкость бентонита исходного и после термической обработки по йоду и соляной кислоте заметно не изменяется. Однако даже после такой подготовки адсорбенты не обладают необходимой активностью для эффективного проведения процесса адсорбции. С этой целью для улучшения адсорбционных свойств бентонит подвергают термической или химической активации [10].

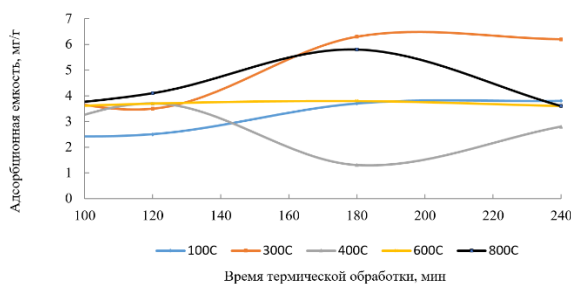


Рисунок 4 – Зависимость адсорбционной емкости бентонита от времени

Параллельно провели эксперименты по определению сорбционной емкости по хлороводородной кислоте, полученные результаты приведены на рисунке 5.

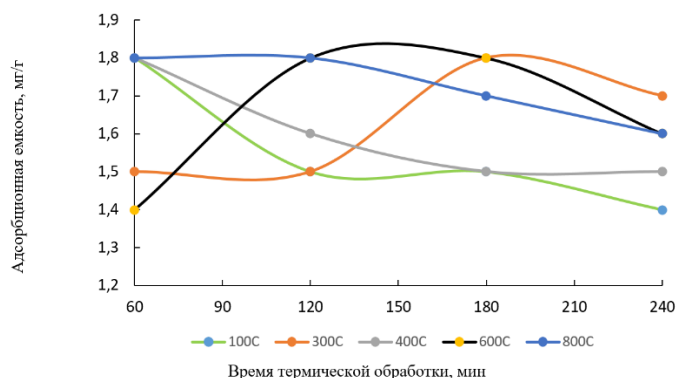


Рисунок 5 – Зависимость адсорбционной емкости бентонита от времени

Широко известными методами химической активации являются кислотная, солевая и содовая. Нами проведены солевая и содовая активации с целью увеличения активных центров изучаемого сорбента – бентонитовой глины. Для проведения анализа приготовили насыщенные растворы NaCl и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, которыми заливали исследуемую бентонитовую глину. Активацию проводили при постоянном перемешивании в течении 2 часов. После бентонит отфильтровали, промыли несколько раз дистиллированной водой и высушили при температуре 100<sup>0</sup>C. Полученные сорбенты были испытаны на модельных растворах, содержащих ионы меди и цинка. Определение исходной и конечной концентрации раствора проводилась трилометрическим титрованием меди и цинка в анализируемых растворах.

Одной из важных характеристик сорбента является его дисперсность, которую измерили на лазерном анализаторе размеров частиц Analizette 22 MicroTec (Fritsch GmbH, Германия).

### Результаты и обсуждение

По полученным результатам определения сорбционно-обменной емкости следует отметить, что исследуемый бентонит месторождения Дарбаза обладает достаточно хорошей сорбционной емкостью, что позволит использовать в качестве сорбента для извлечения ионов тяжелых металлов. Для проведения процесса сорбции был приготовлен модельный раствор сточной воды гальванического цеха, содержащий ионы тяжелых металлов цинк и медь.

В таблице 2 приведены результаты процесса сорбции ионов Cu<sup>2+</sup> и Zn<sup>2+</sup> из сточной воды гальванического цеха.

Таблица 2 – Результаты процесса сорбции ионов Cu<sup>2+</sup> и Zn<sup>2+</sup>.

Сорбент	Ионы	Сточная воды гальванического цеха, г/л		E, %
		до очистки	после очистки	
Активированный бентонит с NaCl	Cu <sup>2+</sup>	1,28	0,89	30
	Zn <sup>2+</sup>	3,25	1,36	58
Активированный бентонит с Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Cu <sup>2+</sup>	1,28	0,58	55
	Zn <sup>2+</sup>	3,25	0,16	95

По полученным результатам процесса сорбции ионов меди и цинка активированными сорбентами, эффективным для иона цинка является активация бентонита содой, при котором степень извлечения достигает 95%, тогда как для меди эффективным методом активации является метод солевой активации, благодаря которому медь извлекается из растворов на 58%. Эксперименты проводились при комнатной температуре (25<sup>0</sup>C) при периодическом перемешивании в течение 2 часов, при соотношении сорбент-раствор 1:5. Определение исходной и конечной концентрации растворов проводилось методом трилометрического титрования исследуемых растворов по ГОСТ [12,13].

## Заклучение

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что бентонитовая глина Дарбазинского месторождения обладает высокими сорбционными свойствами по отношению к ионам тяжелых металлов, а именно меди и цинка, при проведении процесса сорбции с использованием бентонитовой глины степень извлечения меди достигает 58%, а ионов цинка 95%. Полученные результаты анализ можно наглядно доказать особенным составом исследуемой глины Дарбазинского месторождения, который содержит большое количество  $\text{SiO}_2$ , меньше  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и пониженное содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Из полученных результатов становится очевидным, что в исследуемой бентонитовой глине преобладают минералы монтмориллонитовой группы, общая формула которых выглядит  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , и в меньшем количестве содержатся минералы полевого шпата, каолинита, цеолитов. Таким образом, полученные результаты физико-химических исследований бентонитовых глин с определением текстурных особенностей дают важные сведения при проведении адсорбционных процессов. Полученные данные химического и минералогического состава бентонитовых глин имеют важное значение для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, которые являются загрязнителями второго класса и наносят большой вред всем живым организмам.

## Список литературы

1. Джумагулов А.А. Стандарты и нормы качества вод в Республике Казахстан / А.А. Джумагулов, А.Ю. Николаенко, И.Х. Мирхашимов. – Алматы: ОО «OST-XXI век», 2009. – 44 с.
2. Данные комитета статистики МНЭ РК // EconomicResearchInstitute. URL:<http://economy.kz/analytics/971/10799/>.
3. Проблемы проектного решения очистных сооружений / О.В. Рожкова и др. // Наука и технологии Казахстана – 2023. – № 2. – С. 42-53.
4. Мосталыгина Л.В. Реагентный и сорбционный метод с применением бентонитовой глины для очистки сточных вод от ионов хрома / Л.В. Мосталыгина, С.Н. Елизарова, А.Г. Мосталыгин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 6. – С.172-175.
5. Removal of amoxicillin from contaminated water using modified bentonite as a reactive material / Alaa K. Mohammed et al // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, Issue 3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24916>.
6. Адсорбционная активность органобентонита на основе Крантауской глины / О.М. Сейтназарова и др. // Международный журнал перспективных исследований в области науки, техники и технологий. – 2020. – Том 7, выпуск 12. – С. 16164-16167.
7. Пальчикова Л.С. и др. Результаты испытаний глинистого сырья (для производства глинопорошков для буровых растворов) месторождений Оренбургской области / Л.С. Пальчикова, Л.И. Петрова, А.Р. Андроников // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 3. – С. 213-216.
8. El-Mallah N.M. Kinetic and Thermodynamic Studies for the Removal of Nickel Ions from an Aqueous Solution by Adsorption Technique / N.M. El-Mallah, H.M. Hassouba // Journal of Dispersion Science and Technology. – 2014. – Vol. 35, № 1. – P. 130-142.
9. Hassan K.H. Zinc oxide hydrogen sulfide removal catalyst/preparation, activity test and kinetic study / K.H. Hassan, Z.A. Khammas, A.M. Rahman // Al-Khwarizmi Engineering Journal. – 2008. – № 4(3). – P. 74-84.
10. Zhou Y. The removal of amoxicillin from wastewater using organobentonite / Y. \ Zhou, X. Jin, Z. Chen // J. Environ. Manag. – 2013. – № 129. – P. 569-576. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.032>.
11. Experimental study on sodium modification and purification of GMZ bentonite / Yanmei Tong et al // Construction and Building Materials. – 2023. – Vol. 367. – P. 130060. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130060>
12. ГОСТ 18293-72. Методы определения содержания свинца, цинка, серебра. – Введ. 1974-01-01. – М.: Госстандарт России: Из-во стандартов, 2010. – 16 с.
13. ГОСТ 4388-72 Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации меди. – Введ. 1974-01-01. – М.: Госстандарт России: Из-во стандартов, 2010. – 8 с.

## References

1. Dzhumagulov A.A. Standarty i normy kachestva vod v Respublike Kazakhstan / A.A. Dzhumagulov, A.YU. Nikolaenko, I.KH. Mirkhashimov. – Almaty: OO «OST-XXI veK», 2009. – 44 s. (In Russian).
2. Dannye komiteta statistiki MNEH RK // EconomicResearchInstitute. URL:<http://economy.kz/analytics/971/10799/>. (In Russian).
3. Problemy proektnogo resheniya ochistnykh sooruzhenii / O.V. Rozhkova i dr. // Nauka i tekhnologii Kazakhstana – 2023. – № 2. – S. 42-53. (In Russian).
4. Mostalygina L.V. Reagentnyi i sorbtsionnyi metod s primeneniem bentonitovoi gliny dlya ochistki stochnykh vod ot ionov khroma / L.V. Mostalygina, S.N. Elizarova, A.G. Mostalygin // Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. – 2014. – № 6. – S.172-175. (In Russian).
5. Removal of amoxicillin from contaminated water using modified bentonite as a reactive material / Alaa K. Mohammed et al // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, Issue 3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24916>. (In English).
6. Adsorbtsionnaya aktivnost' organobentonita na osnove Krantavskoi gliny / O.M. Seitnazarova i dr. // Mezhdunarodnyi zhurnal perspektivnykh issledovaniy v oblasti nauki, tekhniki i tekhnologii. – 2020. – Tom 7, vypusk 12. – S. 16164-16167. (In Russian).
7. Pal'chikova L.S. i dr. Rezul'taty ispytaniy glinistogo syr'ya (dlya proizvodstva glinoporoshkov dlya burovykh rastvorov) mestorozhdenii Orenburgskoi oblasti / L.S. Pal'chikova, L.I. Petrova, A.R. Andronikov // Bulatovskie chteniya. – 2017. – T. 3. – S. 213-216. (In Russian).
8. El-Mallah N.M. Kinetic and Thermodynamic Studies for the Removal of Nickel Ions from an Aqueous Solution by Adsorption Technique / N.M. El-Mallah, H.M. Hassouba // Journal of Dispersion Science and Technology. – 2014. – Vol. 35, № 1. – P. 130-142. (In English).
9. Hassan K.H. Zinc oxide hydrogen sulfide removal catalyst/preparation, activity test and kinetic study / K.H. Hassan, Z.A. Khammas, A.M. Rahman // Al-Khwarizmi Engineering Journal. – 2008. – № 4(3). – P. 74-84. (In English).
10. Zhou Y. The removal of amoxicillin from wastewater using organobentonite / Y. Zhou, X. Jin, Z. Chen // J. Environ. Manag. – 2013. – № 129. – P. 569-576. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.032>. (In English).
11. Experimental study on sodium modification and purification of GMZ bentonite / Yanmei Tong et al // Construction and Building Materials. – 2023. – Vol. 367. – R. 130060. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130060>. (In English).
12. GOST 18293-72. Metody opredeleniya soderzhaniya svintsa, tsinka, serebra. – Vved. 1974-01-01. – M.: Gosstandart Rossii: Iz-vo standartov, 2010. – 16 s. (In Russian).
13. GOST 4388-72 Voda pit'evaya. Metody opredeleniya massovoi kontsentratsii medi. – Vved. 1974-01-01. – M.: Gosstandart Rossii: Iz-vo standartov, 2010. – 8 s. (In Russian).

**М.Н. Ишанова\***, **А.А. Кадирбаева<sup>1</sup>**, **А.Ф. Минаковский<sup>2</sup>**, **Н.К. Сарыпбекова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,  
160001, Қазақстан Республикасы, Шымкент қаласы, Тауке хан даңғылы, 5

<sup>2</sup>Беларусь Мемлекеттік Технологиялық Университеті,  
220006, Беларусь Республикасы, Минск қаласы, Свердлов көшесі 13а

\*e-mail: [ishanova.marzhan@mail.ru](mailto:ishanova.marzhan@mail.ru)

## ДАРБАЗА КЕН ОРНЫНЫҢ БЕНТОНИТ САЗЫН БЕЛСЕНДІРУ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

*Біздің елімізде суды тазарту мәселесі өзекті болып қала береді, бұған өнеркәсіптік кәсіпорындар санының көбеюі, ауыл шаруашылығының дамуы, қалалардың өсуі және т.б. кіретін сыртқы факторлардың өсуі ықпал етеді. Суды тазарту мәселесін шешу үшін біздің елімізде бар ресурстардан жаңа сорбенттер құру экономикалық тұрғыдан тиімді болып табылады. Қазақстанның көптеген салаларында кеңінен қолданылатын бентонит сазының үлкен қорларына ие және оның қасиеттерінің бірі сорбциялық қабілеті болып табылады. Эксперименттік жағдайларда бентонит сазын өңдеу үшін Jeol JSM-6490I V сканерлеуші электронды микроскоп (SEM), ИК-Фурье спектрометр NEXUS E.S.P. (Thermo Scientific, АҚШ), бөлшектердің размерін анықтайтын лазерді анализатор Analizette 22 MicroTec (Fritsch GmbH, Германия) арқылы аспаптық сынақ әдістері жасалды. Аспаптық зерттеулердің нәтижелері бойынша энергия-дисперсиялық әдіспен сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен Дарбаза кен орнындағы бентонит сазының элементтік және минералогиялық құрамы анықталды. Алынған бентонит балшық негізіндегі*



сорбент жоғары сорбциялық қабілетіне ие және химия өнеркәсібінің ағынды суларын тазартуда қолдануға ұсынылады. Дарбаза кен орнынан алынған бентонит сазының негізінде алынған сорбент химия өндірісіндегі ағынды суларды ауыр металдардан және басқа иондардан 95%-ға дейін тазартуға мүмкіндік береді. Бентонит сазы негізінде жасалған сорбент жергілікті табиғи ресурстарды пайдаланылғандықтан экологиялық және экономикалық тиімді болып келеді. Сонымен, химия өнеркәсібінің ағынды суларын адсорбциялық тазарту үшін Дарбаза кен орнының бентонинді саз негізіндегі тиімді сорбенттерді жоғары дәрежеде қолдануға болатындығы анықталды. Сондай-ақ, сорбциялық процесс арқылы суды тазарту үшін бентонит саздарын пайдалану әртүрлі қосылыстар үшін жоғары адсорбциялық қабілетін көрсететін адсорбенттерге тиімді және қолжетімді балама болып табылатынын атап өткен жөн.

**Түйін сөздер:** бентонит, Дарбаза кен орны, монтмориллонит, адсорбция, ауыр металдар, сорбциялық қасиет, саз.

**M.N. Ishanova\*, A.A. Kadirbayeva<sup>1</sup>, A.F. Minakovsky<sup>2</sup>, N.K.Sarybekova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University,  
160001, Republic of Kazakhstan, Shymkent, Tauke Khan, 5

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University,  
220006, Republic of Belarus, Minsk, st.Sverdlov, 13a

\*e-mail: ishanova.marzhan@mail.ru

## STUDY OF METHODS FOR ACTIVATING BENTONITE CLAY FROM THE DARBAZA DEPOSIT

*In our country, the problem of water treatment remains urgent, and this is facilitated by the growth of external factors, which can include the increase in the number of industrial enterprises, agricultural development, urban growth and others. Objective. To solve the problem of wastewater treatment it is economically advantageous to create new sorbents, from the resources available in our country. Instrumental test methods were chosen for bentonite clay treatment under experimental conditions using scanning electron microscope (SEM) Jeol JSM-6490I V, FTIR spectrometer NEXUS E.S.P. (Thermo Scientific, USA), laser particle size analyser Analizette 22 MicroTec (Fritsch GmbH, Germany). According to the results of instrumental studies, the elemental and mineralogical composition of bentonite clay from Darbazi deposit was determined using scanning scanning electron microscope and FTIR spectrometer. The obtained sorbent on the basis of bentonite clay has a high sorption capacity and is recommended to be used in wastewater treatment of chemical industries. The obtained sorbent on the basis of bentonite clay from Darbazinsky deposit allows to purify wastewater of various productions containing ions of heavy metals up to 95%. The developed sorbent on the basis of bentonite clay has ecological and economic efficiency, connection with the use of local natural resources. Thus, it should be noted that for adsorptive treatment of wastewater from chemical industries with a high degree it is possible to use effective sorbents based on bentonite clays of Darbaza deposit. It should also be noted that the use of bentonite clays for water treatment by sorption process is an effective and affordable alternative to adsorbents, which show high adsorption capacity in relation to various compounds.*

**Key words:** bentonite, Darbaza deposit, montmorillonite, adsorption, heavy metals, sorption capacity, clay.

### Сведения об авторах

**Маржан Нурмухамедовна Ишанова\*** – докторант, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова; e-mail: ishanova.marzhan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7843-479X>.

**Алмагул Аккопейқызы Кадирбаева** – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова; e-mail: diac\_2003@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0702-1114>.

**Александр Федорович Минаковский** – кандидат технических наук, доцент, Белорусский Государственный технологический университет; e-mail: sashmin@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4253-3414>.

**Нурсулу Кошеновна Сарыпбекова** – кандидат химических наук, доцент Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова; e-mail: nurislam\_kar@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1200-3244>.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Маржан Нурмухамедовна Ишанова\*** – PhD студент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті; e-mail: ishanova.marzhan@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7843-479X>.

**Алмагул Аккопейқызы Қадірбаева** – Техника ғылымдарының кандидаты, доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті; e-mail: diac\_2003@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0702-1114>.

**Александр Федорович Минаковский** - Техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Беларусь Мемлекеттік Технологиялық Университеті, e-mail: sashmin@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4253-3414>.

**Нурсулу Кошеновна Сарыпбекова** – Техника ғылымдарының кандидаты, доцент, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті; e-mail: nurislam\_kar@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1200-3244>.

#### Information about the authors

**Marzhan Nurmukhamedovna Ishanova** – PhD doctoral student, M.Auezov South Kazakhstan University; e-mail: ishanova.marzhan@mail.ru. ORCID:<https://orcid.org/0009-0003-7843-479X>.

**Almagul Akkoyeуkyzy Kadirbayeva** – Candidate of technical sciences, Associate **Professor**, M.Auezov South Kazakhstan University; e-mail: diac\_2003@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0702-1114>.

**Aliaksandr Fedorovich Minakouski** – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Belarusian State Technological University; e-mail: sashmin@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4253-3414>.

**Nursulu Koshenovna Sarybekova** – Candidate of Technical Sciences, **Assistant Professor**, M.Auezov South Kazakhstan University; e-mail: nurislam\_kar@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1200-3244>.

Поступила в редакцию 01.03.2024

Поступила после доработки 17.06.2024

Принята к публикации 15.08.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-41](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-41)



IRSTI: 31.01.05

**A. Dauletbay<sup>1,2\*</sup>, D. Hanzheng<sup>1</sup>, N. A. Ongalbek<sup>1</sup>, S. Tursynbolat<sup>2</sup>, A. Dalbanbay<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University,  
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, 71 al-Farabi Ave.

<sup>2</sup>Satbayev University,  
050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, 22 Satbaev str.

\*e-mail: akbar.dauletbay@kaznu.kz

## HUMIC ACIDS: PROPERTIES, STRUCTURE, AND APPLICATION

**Abstract:** Humic substances (HSs) are a diverse class of natural compounds with no fixed chemical composition, formed from plant and microbial residues through the action of environmental factors and living organisms over many years. Despite extensive research spanning two centuries, the complex and variable nature of HSs' structure remains a subject of scientific inquiry. These substances, notably humic acids, fulvic acids, and humin, play crucial roles in ecological and environmental processes due to their abundant functional groups and resilience to biodegradation. This review explores the intricate structure and properties of HSs, their classification, and their occurrence in nature. It highlights the different models proposed to describe the structural fragments of humic acids, emphasizing their aromatic cores and diverse functional groups. The variability in the molecular weight distribution of HSs, attributed to their polydisperse nature, is also discussed, along with methods used for their determination, such as exclusion chromatography. Furthermore, the elemental and functional compositions of humic acids are examined, detailing their acid-base properties and capacity for heavy metal complexation. The synthesis of HSs from natural sources, such as soil, peat, coal, and artificial processes, is covered, showcasing methods like alkaline extraction and hydrothermal treatment. Recent advancements in artificial humification, including oxidative ammonolysis and Fenton reagent-based oxidation, are reviewed for their potential in producing environmentally friendly humic materials from lignin and waste biomass. The study concludes by underscoring the environmental significance and practical applications of HSs, particularly in agriculture, soil conditioning, and environmental remediation. The diverse properties and synthesis methods of HSs make them promising candidates for sustainable material production and environmental management. Humic acids are versatile compounds beneficial for human health due to their potent antioxidant properties, immune-modulating effects, and support for gastrointestinal health and detoxification. Structurally diverse, they feature groups like carboxyl, phenolic hydroxyl, quinones, ketonic carbonyls, amino, and sulfhydryl, contributing to their stability and amphiphilic nature. In pharmaceutical

applications, they show promise for drug delivery, antioxidant therapies, wound healing, antimicrobial actions, and biofilm disruption, underlining their biocompatibility and safety.

**Key words:** humic acid, humic substances, metal humic complexes, polymer materials, electrochemical properties, synthesis of humic acid, structure of humic acid.

**Introduction.** Humic substances are a class of natural polyfunctional compounds, which have no permanent chemical composition and are formed from plant and microbial residues as a result of many years of action by living organisms in combination with environmental factors [1,2]. Despite two centuries of research, the structure of humic substances remains elusive due to their intricate and ever-changing composition over time. This variability is attributed to the stochastic nature of humification processes, which operate based on the principle of natural selection favoring stable structures [3,4]. To date, scientists have agreed that humic substances are complex heterogeneous mixtures of polydisperse materials of variable composition, which are resistant to biodegradation. Important components involved in the humification process are plant lignin and products of its transformation, polysaccharides, melanin, cutin, proteins, nucleic acids, and lipids [5]. We hypothesize that humic substances could become an environmentally friendly material for producing metal nanoparticles, thanks to their incredible properties.

**Structure and properties of humic substances. Classification, structure, origin, and occurrence in nature.** There exists a widely accepted classification of humic substances [6], which is based on their solubility in solvents of varying natures. According to this classification, there are fulvic acids, a subset of humic substances soluble across all pH ranges; humic acids, another subset soluble in alkaline and neutral conditions but precipitates when the pH drops below 2; and humin, an insoluble and irretrievable residue. It's important to highlight that humic and fulvic acids, collectively referred to as humic acids, are the most mobile and reactive components of humic substances, actively engaging in chemical processes within ecosystems [7]. In certain instances, humic and fulvic acids are not separated; however, humic acids predominantly constitute the humic acid fraction and, due to their propensity to transfer to the solid phase, are subject to more thorough investigation. Since no specific humic acid molecule exists, various models of hypothetical structural fragments of humic acid molecules are created based on the accumulated NMR, IR, and other spectroscopy data, as well as complex chemical analysis [8-10]. A prevailing aspect in many models is the existence of two main components: a core structure (comprising an aromatic carbon skeleton adorned with functional groups, notably carboxyl, hydroxyl, and methoxyl groups), and a disordered outer region, encompassing polysaccharide-polypeptide and other fragments [9-17]. The prevailing model for the hypothetical humic acid molecule is the fragment model, as proposed by Kleinhempel [19], which effectively portrays the intricate and varied nature of its constituent structures.

Humic substances play vital roles in supporting life within the biosphere, owing to their abundance of diverse functional groups and the strong stability of structures developed through natural selection processes. The accumulative function is the accumulation of chemical elements, the transport function is the formation of geochemical flows of various substances, the regulatory function is the influence on the aggregate of metabolic processes in natural bodies, and the protective function is the binding of toxicants [20]. The main sources of humic substances are river water (up to 20 mg/l), swamp water (up to 300 mg/l), soil (1-12%), peat (up to 40%), and brown coal (up to 85%). Peat is one of the richest sources of humic substances [21]. The global reserves of lignite are enormous [22]. However, lignite is poorly suited for use as a fuel because of its low calorific value and its tendency to spontaneously combust during transport. The production of humic acids and humic-containing products from lignite is a good alternative to its energy use and belongs to the field of deep processing of hydrocarbons, aimed at the comprehensive use of coal and increasing the added value of coal products [23].

**Macromolecular structure and molecular weight distribution of HSs.** Determining the molecular mass of humic fractions is a key issue in studying humic substances. Reviews have highlighted significant discrepancies between the values obtained by various methods, with differences reaching several orders of magnitude [19, 21, 24-26]. Humic acids' relative molecular mass ranges from a few hundred to several hundred thousand Daltons. These discrepancies have sparked debates about the nature of humic substances (HSs).

Traditionally, Kononova's concept, proposed in 1961, viewed HSs as polymer systems. According to this model, different humic fractions, isolated based on solubility, are part of a heterogeneous mixture with molecular masses ranging from hundreds to hundreds of thousands of

Daltons, showing continuity in chemical properties [7, 27, 28]. This idea was later replaced by the micellar arrangement concept [29], which suggested that HSs are clusters of short molecules linked by hydrophobic and hydrogen bonds, accounting for their large apparent size. However, this theory was criticized for being based on low pH conditions that distorted fractionation results [30].

Supporting the high-molecular-mass structure of HSs is their origin from the biological processing of lignin, polyphenols, cellulose, and amino acids. Subsequent research led to the modern theory of supramolecular structure [31], proposing that HSs should be studied as molecular ensembles. This method determines average physicochemical characteristics, including molecular weight distribution, from which the average molecular weight is calculated [26]. The specific average molecular weight type depends on how the molecular weight distribution is averaged.

Table 1 – Approaches to averaging the distribution of molecular weights in polymers

Number average molar mass ( $M_n$ )	Mass average molar mass ( $M_w$ )	Viscosity average molar mass ( $M_v$ )
$\overline{M}_n = \frac{\sum n_i * M_i}{\sum n_i}$	$\overline{M}_w = \frac{\sum n_i * M_i^2}{\sum n_i * M_i}$	$\overline{M}_v = \frac{\sum n_i * M_i^3}{\sum n_i * M_i^2}$

Monodisperse polymeric systems show consistent average molecular weights across all methods, while polydisperse systems typically follow the inequality:  $M_v > M_w > M_n$ . This inequality allows the estimation of a polymer's polydispersity index ( $M_w/M_n$ ) (Table 1). Various methods for determining the molecular weight of humic acids include light scattering, chromatography, ultracentrifugation, viscometry, and colligative property-based methods, each with its pros and cons [32, 33]. Techniques based on colligative properties, like cryoscopy and ebullioscopy, are less practical due to their sensitivity to low molecular weight impurities, a common characteristic of humic substances. Ultrafiltration is also complicated by interactions between humic acids and membranes [34]. Chromatographic methods, especially exclusion (gel permeation) chromatography, are the most commonly used for studying the molecular weight distribution of humic acids [35,36]. This method determines molecular mass distribution based on the size effect: smaller molecules penetrate the stationary phase pores more easily, resulting in longer retention times, while larger molecules pass through more quickly. It's important to note that exclusion chromatography measures molecular size distribution rather than molecular weight distribution, a significant distinction given the complex, flexible nature of humic acid molecules.

The effective size of humic acid molecules depends not only on their molar mass and shape but also on factors like concentration, pH, and ionic strength of the mobile phase [19]. Exclusion chromatography is complicated by the active nature of humic acids, including Coulomb interactions and specific adsorption [1]. Proper selection of gel and eluent can minimize these issues [24, 25, 37, 38]. Discrepancies in molecular weight distribution often arise from the choice of comparison samples [39,40]. Because humic substances have unique structures, suitable comparison compounds with known molecular masses are not available. Instead, polydextrans or polystyrene sulfonic acids are commonly used [7, 41]. It's crucial to consider the conditions under which molecular weight distribution curves are obtained when comparing average molecular weights [42]. Thus, humic acids, as polydisperse heteropolymers, are best characterized by exclusion chromatography for determining their molecular weights.

*The elemental composition of humic acids.* The elemental composition of humic acids is generally understood as the composition of the organic part, not including ash and water. The main elements present in humic substances in comparable quantities are carbon, hydrogen, oxygen, and, in smaller quantities, nitrogen. In many cases, sulfur is found [2, 42]. The ratio of these elements in humic acids essentially depends on their origin and varies not only for humic acids of different types of sources (for example, soil or lignite), but also from the place and history of formation [43, 44]. Thus, the aromatic carbon content in soil humic acids varies, increases with an increasing degree of humification [44], and reaches a maximum of 70% of total carbon [41,45,46]. The authors [47] suggested the use of the element ratios in humic acids as indicators in assessing the natural environment of different periods of paleographic history because they correspond to landscape conditions and even to the quantitative characteristics of the climatic indicators of the time of their formation [48, 49]. The elemental composition of different fractions of humic substances of the same source is also different.

*The functional composition of humic acids. Acid-base properties. Buffer characteristics.* The functional groups occupy a special place among the structural fragments of humic acids, as they are mainly responsible for the reactivity of humic molecules.

Among the oxygen-containing groups, the carboxyl, alcohol, and hydroxyl groups stand out as the most prevalent and influential. Specifically, within aromatic structures, phenolic and carboxyl groups play crucial roles in determining humic acids' capacity to form complexes with heavy metals [45,50]. Additionally, the quinone and semiquinone groups enable humic acids to engage in reactions via a free-radical mechanism. Nitrogen-containing groups within humic acids encompass heterocycles, amino acids, and aliphatic amines, all of which play a role in influencing the complexation behavior of heavy metals. Understanding the quantitative distribution of these main functional groups is essential for elucidating and predicting the chemical behavior of humic acids and their interactions with heavy metals. Potentiometric titration is a common method used to obtain this information [48, 51]. Due to humic acids' low solubility in water, reverse titration – where the sample is first dissolved in alkali – is necessary rather than direct titration. The acidic functional groups in humic acids predominantly fall into three categories [52]. At pH 2.0, the carboxylic groups of hydrocarbon chains are titrated, at pH 6.5, the carboxylic groups at the aromatic ring, and pH 10-11, the phenolic hydroxyls. The detection of 3 equivalence points makes it possible to calculate the number of groups of interest [23, 53, 54].

**Synthesis of HSs.** HSs are originated from naturally decaying biomass. The main products of HS are humic acids, fulvic acids, and humins. HS are extracted from natural origins (e.g., coals, lignite, forest, and river sediments). There are lots of recent developments in obtaining artificial humic substances by humification from waste biomass, lignin, and non-lignin biomass.

*Synthesis of HAs from natural substances.* Humic acids are complex organic compounds that are naturally present in soil, peat, coal, and other organic materials [55-63]. They play a crucial role in soil fertility, nutrient cycling, and environmental processes. While humic acids can be extracted from various natural sources, their synthesis involves complex biochemical and geochemical processes. Here's a general overview of how humic acids can be synthesized from different natural sources:

#### Coal:

- Humic acids can be derived from coal through a series of chemical and thermal processes.
- Coal is typically treated with alkalis or acids under controlled conditions to break down its organic components.
- The resulting mixture undergoes oxidation and hydrolysis reactions to release humic substances, including humic acids.
- These humic acids can then be separated, purified, and characterized for various applications, such as soil conditioning, agriculture, and environmental remediation.

#### Soil:

- Humic acids naturally form in soil through the decomposition of organic matter, such as plant and animal residues.
- Microorganisms play a crucial role in the transformation of organic materials into humic substances.
- During decomposition, complex organic molecules are broken down into simpler compounds, which undergo further polymerization and condensation reactions to form humic acids.
- Humification, the process by which organic matter is converted into humic substances, is influenced by temperature, pH, moisture, and microbial activity.
- Humic acids in soil contribute to soil structure, water retention, nutrient availability, and cation exchange capacity.

#### Peat:

- Peat, a type of organic soil formed from partially decomposed plant material, is rich in humic substances, including humic acids.
- Humic acids in peat are derived from the decomposition and transformation of plant residues over thousands of years.
- Peat extraction involves harvesting and processing peat bogs to obtain humic-rich materials.
- Humic acids extracted from peat are used in agriculture, horticulture, water treatment, and other applications for their soil conditioning and environmental benefits.

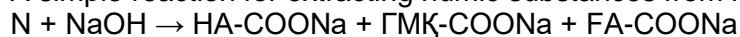
#### Other Sources:

- Humic acids can also be found in lignite, leonardite, and other organic-rich materials.

- Extraction methods vary depending on the source material and intended applications.
- Chemical, physical, and biological processes may be employed to isolate and concentrate humic acids from these sources.

Chemical techniques for extracting humic acids encompass various methods, with alkaline extraction being the predominant approach. This method entails treating natural substances with a solution containing potassium or sodium alkali, followed by precipitation using hydrochloric acid or sulfuric acid solution. A crucial aspect of this technique involves subjecting the alkaline extract to heat during neutralization to enhance the coagulation of humic acid particles effectively (Figure 1). Additionally, physical activation methods, like ultrasonic treatment or extraction under elevated pressure, are employed to enhance the efficiency of alkaline extraction from raw materials. Humic substances consist of three main high molecular compounds respectively HA, HMA, and FA [64, 65].

A simple reaction for extracting humic substances from natural substances is as follows



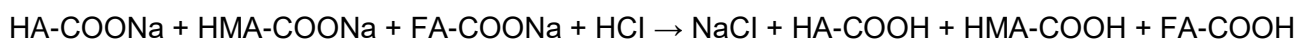
N – any substance containing humic compounds

HA – humic acid radical

HMA – radical of himatomelanic acid

FA – radical of fulvic acid

If acid is added to the resulting alkaline extract at a pH of 1-2, humic and hematomelanic acid will precipitate, and fulva will remain in the acidic solution:



The precipitates of HM and HMA are easily separated, and after drying, they are obtained as black or dark brown powder [65].

*Artificial humification.* The humification of waste biomass and non-lignin materials involves various chemical processes and conditions aimed at yielding HA, FA, and humins. For instance, the process can include two-stage hydrothermal (HT) treatment, alkaline HT treatment, and neutral HT treatment [66-73]. These processes can yield significant HA, with conditions such as high temperature and specific pH levels affecting the yield. The preferred temperature for the humification process can significantly impact the yield of HSs. Studies have shown that increasing the temperature can lead to an increase in the formation of substances. For instance, in the HT treatment of broccoli stem, elevating the temperature from 184 to 220 degrees resulted in a higher yield of HA [72]. The temperature of the HT treatment of waste biomass, such as wheat straw and sugarcane exocarp, food wastes has been reported to influence the yield of HA. Therefore, it's evident that temperature plays a crucial role in the humification process, affecting the yield of HSs. The yield from the direct alkali hydrothermal treatment process is relatively low (1.8–2.3%), potentially obstructing the production of hydroxymethylfurfural aldehyde (HMF) in environments with high alkalinity (Table 2) [69, 71, 74]. Additionally, the neutral HT treatment of waste biomass under specific conditions has been reported to generate a considerable yield of HA, which can have applications in soil enrichment, fertilizer production, wastewater treatment, water decontamination, and even medicines. The transformation of waste biomass toxic complex chemical reactions can have implications for environmental sustainability and resource management.

The artificial humification can be carried out by the direct oxidation (DO) and oxidative ammonolysis (OA) process of lignin. The process of alkaline wet oxidation for lignin necessitates elevated temperatures (125-320 °C) and pressures (up to 2 MPa), with air or oxygen present [75]. Recent methods for transforming technical lignin into materials resembling humic substances can be broadly categorized into three approaches: alkaline aerobic oxidation (AAO) of technical lignin, alkaline oxidative digestion (AOD) of lignocellulosic biomass using hydrogen peroxide, and Fenton reagent-based oxidation of lignin with hydrogen peroxide (Figure 2). Figure 2① presents a diagrammatic representation of the synthesis of artificial lignohumate (ALH) from technical lignin through the AAO method [76]. During this procedure, lignin is dissolved in an alkaline medium like KOH or NaOH, which catalyzes to activation of the phenolic OH groups within the lignin, followed by oxidation using air/oxygen or hydrogen peroxide. Post-reaction, the resultant product is ready for use in its liquid or solid state. Nonetheless, ALH produced via NaOH may require dialysis to remove excess sodium ions that could potentially increase soil salinity and adversely affect plant growth when used as a fertilizer [76].

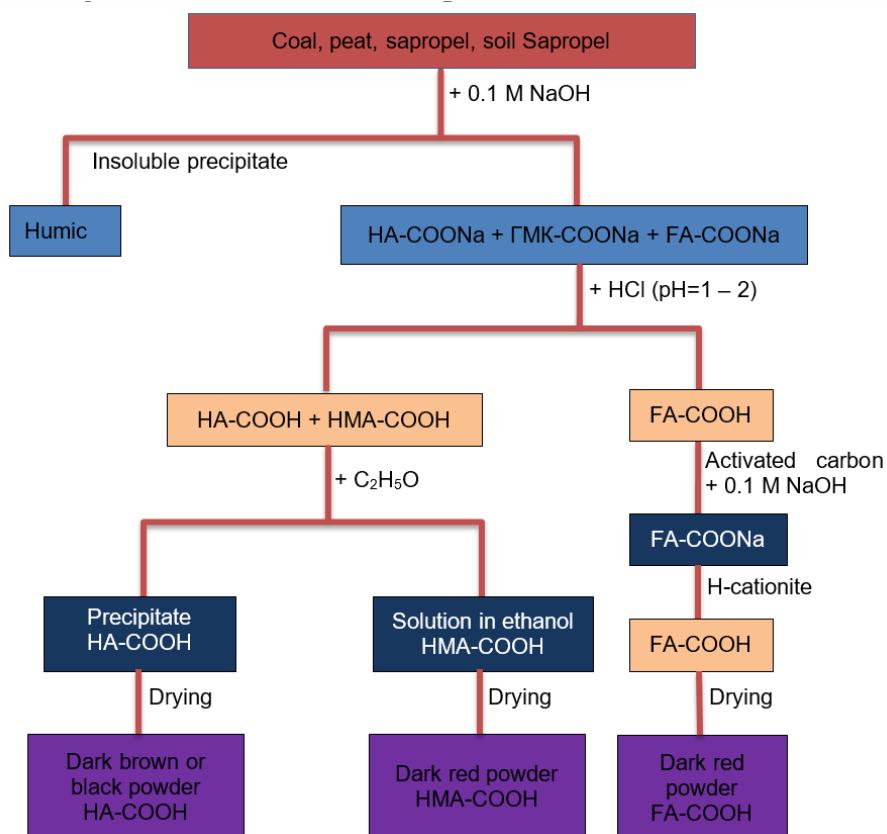


Figure 1 – Schematic synthesis diagram of humic Acids from natural substances

Table 2 – The transformation of biomass and non-lignin materials utilizing alternative techniques to create humic substances

Raw material	Chemical processes	Conditions	Yield	Refs.
Corn stalk	Two-stage Hydrothermal	180 °C, 4 h, pH 1 180 °C, 4 h, pH 13	HA-28.7%	[66]
Wheat straw	Hydrothermal	220 °C, 4 h	HA-30.2%	[71]
Broccoli stem	Hydrothermal	204–220 °C, 10 min	HS-198 g/kg HA-50.7 g/kg FA-28 g/kg	[72]
Sugarcane exocarp	Hydrothermal	200 °C, 1 h	HA-14.85%	[69]
Cabbage leaf	Alkali- Hydrothermal	KOH (25%), NH <sub>4</sub> OH (20%), 195 °C, 4 h	Not available	[70]
Glucose, saw dust, tulip tree leaves	Alkali-Hydrothermal	KOH	HA-1.8%	[67]
Food wastes (rice, meat, cabbage, potatoes)	Hydrothermal	215 °C, 1 h	HA-43.5	[74]
Fermented Furfural	Alkali dissolution and acidification	KOH (8%) 70 °C, 2.5 h	HA-49%	[68]
Carbohydrates monomer	Hydrothermal	([BMIM]Cl) (10 g) CrCl <sub>3</sub> (0.74 g) 110 °C, 4 h	HA-56.6%	[81]

In an alternative approach, lignocellulosic biomass is subjected to alkaline oxidation digestion to produce water-soluble lignin, which is then utilized for generating HS-like materials. A schematic representation of this procedure is illustrated in Figure 2<sup>③</sup> [77-79]. This method involves the biomass undergoing digestion in an alkaline environment, typically with KOH or NaOH, in the presence of an oxidizing agent such as hydrogen peroxide. Following digestion, insoluble cellulosic fibers are filtered out, and the filtrate is acidified to separate hemicelluloses/sugars from lignin. The separated lignin is then suspended in water and neutralized to yield water-soluble fractions known as lignohumates. The oxidative mechanism acting on lignin in this process is expected to mirror that

of alkaline aerobic oxidation. The AOD process offers several advantages, including the direct utilization of biomass, operation at low temperatures (around 50 °C, overnight), and the generation of cellulose fibers as secondary products. Additionally, the acidification step facilitates the production of monomeric toxic phenolic compounds, also referred to as phytotoxic chemicals [77,78,80].

A novel approach has been devised for oxidizing lignin, such as kraft lignin, utilizing hydrogen peroxide with a Fenton reagent catalyst at ambient temperature (Figure 2) [82]. Here, lignin is combined with a hydrogen peroxide solution, followed by oxidation at room temperature in the presence of iron (II) sulfate heptahydrate. After the oxidation reaction, the solution undergoes centrifugation and multiple washes with deionized water to eliminate residual chemicals and harmful phenolic compounds. The resulting solid residue, oxidized lignin, is then freeze-dried for subsequent use as lignohumate. Fenton reagent-based lignin depolymerization, a broad oxidation method, transforms lignin into HA-like substances with iron-based inorganics enhancing the oxygen-to-carbon (O/C) ratio and adding functional groups like quinones. The process's efficiency depends on lignin's structure and the hydrogen peroxide to iron (II) sulfate ratio [82, 83]. However, it may produce phytotoxic phenolic compounds [83], necessitating post-process separation for a clean product.

Artificial humification can be achieved through the OA process of lignin, which allows the incorporation of a significant amount of nitrogen into the humified lignin in various forms. In soil, organic matter like HS requires nitrogen for efficient biodegradation. Research indicates that a carbon-to-nitrogen ratio below 20 facilitates biological degradation [84], while a value higher than 25 may hinder the process. Natural humification can also be simulated by reacting technical lignin with ammonium hydroxide or ammonia solution, thereby increasing the C/N ratio and enhancing crop productivity [85]. Figure 3 illustrates the preparation of nitrogen-enriched lignohumates (N-ALHs) using the oxidative ammonolysis process [86-88]. In this, lignin is suspended in different concentrations of NH<sub>4</sub>OH solution. The reaction occurs within temperature ranges of 130–150 °C and can be treated with or without oxidants (such as air or oxygen). After the reaction, the water-soluble and insoluble components are separated and can be utilized as different grades of fertilizers [84].

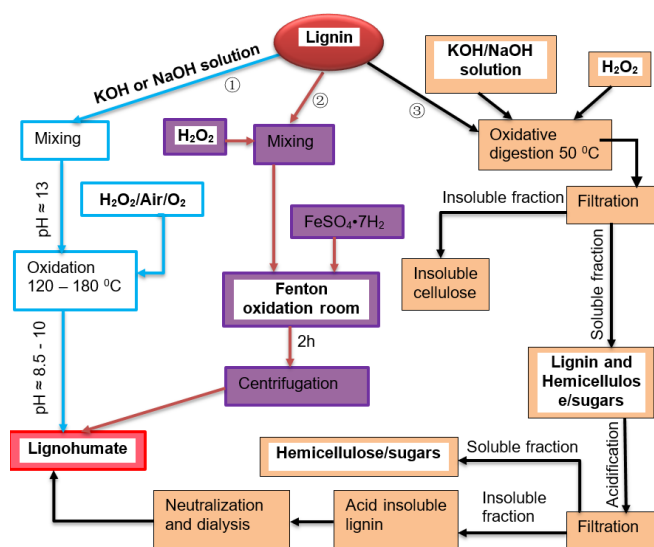


Figure 2 – A schematic flow diagram of the various direct oxidation for lignohumate production from lignin

**The complexing properties of humic acids.** Humic acids, known for their complex structure and versatility, also function as ligands in metal complexes, confirming their role in soil coordination structures [89]. Research focuses on heavy metal contamination, metal-humic complex formation, and interactions with herbicides and hydrocarbons. Humic acids form stable water-soluble salts with monovalent cations (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, etc.) and less soluble complexes with divalent/trivalent cations (Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, etc.), influenced by pH [90]. Their functional groups (carboxyl, hydroxyl, amine, etc.) enable coordination bonds with metals [91].



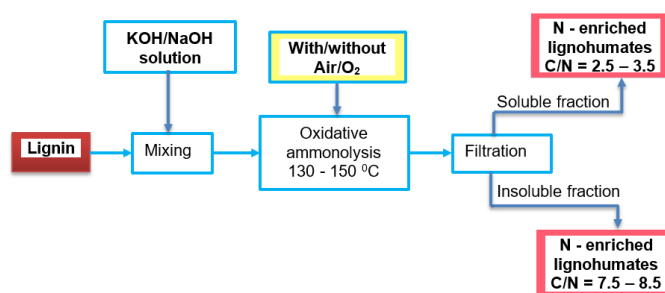


Figure 3 – A schema of the process of oxidative ammonolysis to produce nitrogen-enriched lignohumate from lignin

Recent studies highlight the importance of organic compounds in soil, including humic substances formed from biomass decomposition. Humic-like substances, produced via hydrothermal carbonization, show similar metal complexation properties as natural humics [92]. For example, humic acids strongly bind copper ions, influenced by their functional groups and structural characteristics [93]. The complexation with iron cations occurs notably on the aromatic side groups [94].

Experimental studies show dissolved organic substances form complexes with  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , and  $\text{Cu}^{2+}$  in surface waters, with significant contributions from humic acids [95]. Metal-humic complexes exhibit high stability; for instance, fulvic acids form strong complexes with Fe (III) and Al (III) at different pH levels. Stability varies among metals, with  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  complexes being more stable than those with  $\text{Cd}^{2+}$ .

Humic substances can be grouped by their metal ion binding:

1. Humates and fulvates with alkali/alkaline earth metals.
2. Covalent bonds with polyvalent cations.
3. Coordination complexes with transition metals.

Sorption efficiency decreases in the order:  $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$ , reflecting solubility trends. Thus, humic acids play a crucial role in forming stable metal complexes in various environmental contexts.

**Electrochemical properties of humic substances.** Humic substances form metal-humic complexes, enabling electrochemical studies and enhancing analytical methods due to their high sensitivity. Combining electrochemical and molecular analysis assesses changes in humic substances' composition and redox properties during sorption processes, crucial since most humic substances in soil and groundwater are sorbed, not dissolved [94]. These studies help understand biogeochemical processes involving electron transport and the adsorption and redox properties of active soil components, like iron-containing minerals.

In oxygen-rich environments, minerals, natural organic matter, and divalent manganese ( $\text{Mn(II)}$ ) coexist, influencing the reactivity of organic substances and manganese toward metals and pollutants. The interaction of  $\text{Mn(II)}$  with humic acids and iron oxides (like goethite) affects adsorption and oxidation processes, particularly at pH 5-8, altering the formation and composition of  $\text{Mn(II)}$  oxidation products [96]. Humic acids, modified for various applications, show initiating properties for oxygen electroreduction at pH  $>7$  and inhibitory properties at pH  $\leq 7$  [97]. Increasing humic acid in a solution accelerates metal reduction on the cathode, reducing metal complex accumulation on the electrode. Cyclic voltammetry studies indicate that electrodes modified with humic acid are highly sensitive and effectively accumulate copper ions.

The formation of carboxylates at pH 4.5 is faster than at pH 3, increasing voltammetry sensitivity in the pH range of 3-4.5. At pH  $<7$ , the rate of complexation decreases. With more humic acid on the electrode surface, the sensitivity increases, aiding the detection of metal ions from various media. Electrode potentials of humic compounds range from +0.15V to +0.70V, depending on their origin: 0.79V for peat-derived humic substances, 0.78V for soil-derived, and 0.50V for fulvic acids. Oxidation of humic substances produces oxygen-containing functional groups like carboxyl, hydroxyl, and aldehyde [98].

**Amphiphilic character and functional groups.** Humic substances (HSs) are a varied mixture of intricate molecules with differing structures and chemical compositions. Typically characterized by aromatic rings, aliphatic chains, O-, N-, and S-containing functional groups, as well as nonpolar segments, these compounds display amphiphilicity due to the presence of both polar

and non-polar fragments [99,100]. This dual nature enables them to demonstrate hydrophobic and hydrophilic properties, facilitating interactions with a wide range of polar and non-polar substances, essential for their varied biological and environmental roles.

*Amphiphilic Nature.* Humic acids derived from soils of varying origins exhibit differences in their amphiphilic component proportions. When examining humus acid preparations through hydrophobic interaction chromatography, a higher concentration of hydrophobic compounds is observed in humic acids from quasigley chernozem compared to those from brown soil, as well as compared to fulvic acids from brown soil. The elevated hydrophilic characteristics of humic substances (HSs) suggest increased mobility within the soil profile and a greater capacity to dissolve minerals [101]. Conversely, hydrophobic HSs tend to remain fixed in their formation location, contributing to the accumulative properties of the soil profile. The amphiphilic attributes of HSs appear to play a significant role in fulfilling these functions during the development of soil humus profiles. Additionally, humic acids from brown soil display higher hydrophilicity, attributed to the prevalence of side groups within their molecular structures, in contrast to those from quasigley chernozem, which contain numerous hydrophobic aromatic structures.

*Functional groups.* Humic acid is very acidic mainly because of carboxyl and phenolic-hydroxyl groups. Its overall acidity can vary widely, from 1 mol/kg to over 14 mol/kg. Additionally, humic acid contains other functional groups such as quinone and ketonic carbonyl, as well as amino and sulfhydryl groups [102-107]. Carboxylic acids (-COOH) are plentiful in humic acids, imparting acidity. They can ionize in water, influencing pH and facilitating metal ion chelation. Phenolic hydroxyls (-OH) are also present in humic acids, contributing to their antioxidant properties by donating hydrogen atoms to neutralize free radicals and reduce oxidative stress. Quinones and ketones participate in redox reactions and electron transfers within humic acids. They enhance electron accepting capacity, crucial in environmental chemistry and potential biological interactions. Aromatic rings in humic acids bolster their stability and structure. These rings also facilitate interactions with other aromatics and form complexes with metals and other molecules. Aliphatic chains within humic acids create hydrophobic regions, contributing to their amphiphilic nature and interactions with non-polar substances. Esters and ether linkages within humic acids enhance overall stability and solubility characteristics [108, 109].

**Scope of application of humic substances.** With the development of electronic manufacturing, a great deal of electricity and electronic devices have been produced. The main component of these devices is printed circuit boards, which are heterogeneous and complex. The remnants of printed circuit boards often contain a polymer, an inert oxide, and a metal. In particular, the presence of copper in the board is much greater than the amount of copper in the metal mines. Besides, the printed circuit boards have polymer and inert oxide retardants. If handled improperly, they can lead to numerous environmental problems as well as resource recovery [110].

HA is a macromolecular organic compound formed by the biodegradation of biopolymers and is widely distributed in soil, air, and other media. HA in general can bind to all components of the environment, as well as affect the microorganisms that pollute the environment, slowing their spread. The hydroxyl and carboxyl groups contained in humic acid can be used to localize on mineral surfaces through electrostatic adsorption and organic complexation to promote the release of metals from the solid phase to the liquid phase [111]. Humic acid is re-oxidized, it can be reused as an electron acceptor to act as an electron shuttle. Based on these interactions, humic acid has the potential to influence microbial activity in biocommunication processes [5]. The above properties are considered in the research work [6]. The main purpose of the research work is to study the effect of HA on the biological leaching of copper ions from an unwanted computer motherboard. HA has been used as an additive. The experiment has shown that under the following optimum conditions the process of biological leaching of copper proceeds at a rate of 100%: pH = 1,53 and the content of HA = 0,31 g/L. The research findings suggest of biological leaching and SEM analysis, HA not only increases the percentage of copper leaching but also reduces the leaching time.

As mentioned in some literature sources, HA can be used for biological leaching of other minerals (for example, hematite, chalcopyrite, etc.) [112] Thus, we can conclude that HA is a valuable, inexpensive, and available additive, which is now found in many adsorbents.

**Multifunctionalities of humic acids on human health.** Humic acids exhibit multifunctional properties that can benefit human health across various areas.

**Antioxidant Properties.** Humic acids have been studied for their antioxidant capabilities. They scavenge free radicals, which are implicated in various diseases including cancer and cardiovascular disorders. The pharmacological activity of natural substances often hinges significantly on their antioxidant properties. This is because virtually all living organisms, from the simplest to the most complex multicellular structures (with few exceptions among obligate anaerobes), rely on the absorption and utilization of molecular oxygen in the mitochondrial respiratory chain. HSs have demonstrated antioxidant activity by effectively reducing levels of stable free radicals such as 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and ABTS•+. This capability is comparable to that of standard reference compounds like dihydroquercetin and trolox. Moreover, HS exhibit a strong ability to inhibit free radicals like O<sup>2•-</sup> (superoxide anion) and HO• (hydroxyl radical) in experimental models, akin to well-established antioxidants such as ascorbic acid and mannitol [113]. These antioxidative effects are likely attributable to the abundant presence of phenolic and quinoid groups, along with semiquinone-type radicals within their molecular structure [114-118]. Additionally, oxidized phenolic groups forming phenoxyl radicals may also contribute to the antioxidant potential of HSs [119].

**Immunomodulatory effects.** Humic acids have been studied for their potential immunomodulatory effects [120-122], which refers to their ability to regulate and modulate the immune response in the body. Researchers suggested that humic acids may have anti-inflammatory effects [123-125], immune system regulation [126, 127] and wound healing [128] immunomodulatory properties. Humic acids have displayed anti-inflammatory characteristics in certain research studies. By diminishing inflammation, they could potentially regulate the immune response and lower the likelihood of inflammatory ailments. Their capacity to modulate the immune system has also been under scrutiny, with the possibility of augmenting immune reactions against pathogens and preventing excessive immune responses in conditions like autoimmune disorders. Additionally, investigations have been conducted on humic acids' ability to promote tissue repair and regeneration, which may indirectly contribute to supporting the immune system's function. While existing studies indicate these immunomodulatory effects of humic acids, further research is necessary to comprehensively grasp the underlying mechanisms and explore their potential applications in human health.

**Gastrointestinal health.** Humic acids have been examined for their potential advantages in promoting gastrointestinal health [129, 130], although ongoing research is still developing in this field. Various aspects of how humic acids can influence gastrointestinal health include their impact on gut microbiota [131], gut barrier function [132], and detoxification [133]. They have been studied for their ability to alter the balance and variety of gut microbiota, crucial for digestive health and overall well-being. This promotion of a healthy gut microbiome by humic acids may contribute to improved digestive function. Additionally, research suggests that humic acids may aid in upholding the integrity of the gut barrier, essential for preventing the entry of harmful substances into the bloodstream and facilitating proper nutrient absorption. Known for their capacity to bind to toxins and heavy metals, humic acids may help eliminate harmful substances from the gastrointestinal tract, thereby enhancing overall gut health. While research continues to explore the potential gastrointestinal benefits of humic acids, it's essential to recognize that individual responses can vary. To receive personalized recommendations and guidance on integrating humic acids into a gut health-focused wellness routine, consulting healthcare professionals or experts in gastrointestinal health is advisable.

**Novel technological developments.** Humic acids have gained attention in the pharmaceutical field due to their diverse chemical properties and potential therapeutic applications [134]. novel technological perspectives have as following: first, humic acids can be utilized as carriers or excipients in drug delivery systems [135]. Their amphiphilic nature allows them to interact with both hydrophilic and hydrophobic drugs, improving their solubility and bioavailability. Encapsulation techniques using humic acids can protect drugs from degradation and enhance targeted delivery to specific tissues or cells [136]. Second, the antioxidant properties of humic acids, attributed to phenolic hydroxyl groups, make them promising candidates for developing anti-inflammatory and antioxidant therapies [116-118]. They can scavenge free radicals and reduce oxidative stress, potentially mitigating inflammation-related diseases such as arthritis and inflammatory bowel diseases [121, 122]. Third, humic acids' ability to chelate metals can be harnessed for detoxification purposes. They can bind to toxic heavy metals and facilitate their excretion from the body, which is beneficial in treating heavy metal poisoning and environmental detoxification [133, 137]. Forth, Studies suggest that humic acids possess wound healing properties by promoting cell proliferation,

angiogenesis, and collagen synthesis. Incorporating humic acids into wound dressings or topical formulations could accelerate wound closure and improve tissue regeneration [128]. Fifth, humic acids have demonstrated antimicrobial and antiviral activities against a wide range of pathogens [138, 139]. They can disrupt microbial cell membranes, inhibit viral replication, and enhance immune responses. This makes them potential candidates for developing novel antimicrobial agents or adjuvants for vaccines. Sixth, humic acids are generally biocompatible and non-toxic, which is advantageous for pharmaceutical applications [140, 141]. They have been used traditionally in folk medicine and are considered safe for human consumption at appropriate doses. Latest, humic acids have shown promise in disrupting bacterial biofilms [142, 143], which are implicated in chronic infections and antibiotic resistance. Incorporating humic acids into therapies aimed at biofilm eradication could enhance treatment efficacy.

**Conclusion.** Humic acid is a high molecular weight heterogeneous compound, which is one of the main components of soils and many aquatic objects. Humic substances are widely used in various fields of human life: they are part of fertilizers, which are the basis for plant growth, are used in industry as sorbents for the purification of water and various levels of toxic solutions, in medicine as radioprotectants and active additives. It is also possible to obtain sensory electrodes sensitive to various organic and inorganic compounds utilizing metal-humic complexes. Such electrodes help to solve many problems in the fields of analytical chemistry, electrochemistry, medicine and simplify some processes. The peculiarity of humic acid in the manufacture of such electrodes is its economic efficiency, affordability, and versatility. One of the most important issues in the study of such compounds is the study of their structure and composition. Despite much research, there is still much debate on this topic. Future research should focus on elucidating the detailed mechanisms of humic acid interactions at the molecular level, optimizing extraction and synthesis techniques, and expanding their applications in various fields to fully exploit their environmental and economic potential. The functionalities of humic acids arise from their amphiphilic character and the diverse array of functional groups present in their complex molecular structure. Exploring humic acids in pharmaceutical applications involves leveraging their unique chemical properties for drug delivery, antioxidant therapy, metal detoxification, wound healing, antimicrobial activities, and biofilm disruption. Further research and development are needed to fully exploit their potential and optimize their use in clinical settings.

### References

1. Yarkova T.A. Theoretical Aspects of the Antioxidant Properties of Humic Acids // *Solid Fuel Chemistry* / Yarkova T.A., A.M. Gyu'l'maliev // *Pleiades journals*. – 2021. – Vol. 55, № 4. – P. 236-243.
2. Yang F. The sleeping giant: A polymer View on humic matter in synthesis and applications / F. Yang, M. Antonietti // *Prog Polym Sci*. Pergamon. – 2020. – Vol. 100. – P. 1-15.
3. Ni H. Effects of Compound Fertilizer Decrement and Water-Soluble Humic Acid Fertilizer Application on Soil Properties, Bacterial Community Structure, and Shoot Yield in Lei Bamboo (*Phyllostachys praecox*) Plantations in Subtropical China / Ni H., Zhao J., Yang Z. // *Forests*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. – 2024. – Vol. 15, № 3. – P. 400.
4. Humic Acid Fertilizer Improved Soil Properties and Soil Microbial Diversity of Continuous Cropping Peanut: A Three-Year Experiment / Y. Li et al // *Scientific Reports*. Nature Publishing Group. – 2019. – Vol. 9, № 1. – P. 1-9.
5. Interaction of metal ions with humic acids of brown coals of Kazakhstan / A. Dauletbay et al // *J Exp Nanosci*. – Taylor & Francis. – 2020. – Vol. 15, № 1. – P. 406-416.
6. Influence of humic acid structure on the accumulation of oxyfluorfen in tropical soils of mountain agroecosystems / D.R. Barbosa et al // *Environmental Pollution*. – Elsevier. – 2021. – Vol. 284. – P. 117380.
7. Humic acid-based polyphenol-functionalized collagen fiber for efficient recognition capture of iodine vapor / Y. Tang et al // *Appl Surf Sci*. – North-Holland. 2024. – Vol. 663. – P. 160173.
8. Surface Properties of Nanoparticles Dictate Their Toxicity by Regulating Adsorption of Humic Acid Molecules / S. Li et al // *ACS Sustain Chem Eng*. – American Chemical Society. 2021. – Vol. 9, № 41. – P. 13705-13716.
9. Effects of long-term application of organic materials on soil water extractable organic matter, fulvic acid, humic acid structure and microbial driving mechanisms / H. Feng et al // *Plant Soil*. –

- Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 2024. – P. 1-19.
10. Stevenson F.J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. New York: John Wiley&Sons / F.J. Stevenson, 1994. – 443 p.
  11. Orlov D.S. Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii. / Izd-vo MGU, M., 1990. – 325 s. (In Russian).
  12. Yang F. Artificial Humic Acids: Sustainable Materials against Climate Change / F. Yang, M. Antonietti // *Advanced Science*. – John Wiley and Sons Inc. – 2020. – Vol. 7, № 5. – P. 1-7.
  13. Influence of metal loading and humic acid functional groups on the complexation behavior of trivalent lanthanides analyzed by CE-ICP-MS / R. Kautenburger et al // *Anal Chim Acta*. – Elsevier. 2014. – Vol. 816. – P. 50-59.
  14. Klavins M. Peat humic acid properties and factors influencing their variability in a temperate bog ecosystem / M. Klavins, O. Purmalis, V. Rodinov // *Estonian Journal of Ecology*. – 2013. – Vol. 62, № 1. – P. 35-52.
  15. Biodegradations of three different rank coals by a newly isolated bacterium *Bacillus* sp. XK1 / C. Shi et al // *Energy*. – Pergamon. 2024. – Vol. 299. – P. 131441.
  16. Volkov I.V. Kompleksoobrazovanie guminovykh kislot s mikroelementami: metody i podkhody / I.V. Volkov, E.V. Polyakov // *Zhurnal analiticheskoi khimii*. – 2023. – Vol. 78, № 12. – P. 1064-1095. (In Russian).
  17. Lodygin E. Relating Paramagnetic Properties to Molecular Parameters of Humic Acids Isolated from Permafrost Peatlands in the European Arctic / E. Lodygin, R. Vasilevich, E. Abakumov // *Molecules*. – 2024. – Vol. 29. – P. 104.
  18. Pavlů L. Differences in humic acids structure of various soil types studied by DRIFT spectroscopy / L. Pavlů, M. Mühlhanselová // *Soil and Water Research*. – Czech Academy of Agricultural Sciences. – 2018. – Vol. 13, № 1. – P. 29-35.
  19. Klučáková M. Size and charge evaluation of standard humic and fulvic acids as crucial factors to determine their environmental behavior and impact / M. Klučáková // *Front Chem*. – 2018. – Vol. 6. – P. 235-248.
  20. Compost and Humic Acid Mitigate the Salinity Stress on Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd L.) and Improve Some Sandy Soil Properties / S.A. Rekaby et al // *J Soil Sci Plant Nutr*. – Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. – 2023. – Vol. 23, № 2. – P. 2651-2661.
  21. Effect of Different Tillage Systems on Soil Organic Carbon and Enzymatic Activity / M. Szostek et al // *Agronomy*. – 2022. – Vol. 12, № 1. – P. 208.
  22. Immobilization properties and adsorption mechanism of nickel(II) in soil by biochar combined with humic acid-wood vinegar / J. Zhu et al // *Ecotoxicol Environ Saf*. – 2021. – Vol. 215, № 6. – P. 112-159.
  23. Effect of selected organic materials on soil humic acids chemical properties / L. Pospíšilová, et al // *Environ Res*. – 2020. – Vol. 187. – P. 109663.
  24. Structural characteristics of humic acids derived from Chinese weathered coal under different oxidizing conditions / L. Zhou et al // *PLoS One* / ed. Mao J. – 2019. – Vol. 14, № 5. – P. 1-15.
  25. Debska B. Molecular size distribution and hydrophilic and hydrophobic properties of humic acids isolated from forest soil / B. Debska, M. Drag, M. Banach-Szott // *Soil and Water Research*. – 2007. – Vol. 2, № 2. – P. 45-53.
  26. Theoretical Study of the Molecular Coupled Structures of Aristolochic Acids and Humic Acid, Potential Environmental Contaminants / A.M. Petrescu et al // *Chem Biodivers*. – 2019. – Vol. 16, № 11. – P. e1900406.
  27. Macromolecular Structure of a Commercial Humic Acid Sample / S. Capasso et al // *Environments*. – 2020. – Vol. 7, № 4. – P. 1-8.
  28. Influence of humic acid and its different molecular weight fractions on sedimentation of nanoscale zero-valent iron / Y. Wu et al // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2020. – Vol. 27, № 3. – P. 2786-2796.
  29. Sorption of Organic Pollutants by Humic Acids: A Review / S. Chianese et al // *Molecules*. – 2020. – Vol. 25, № 4. – P. 918.
  30. Combining humic acid with phosphate fertilizer affects humic acid structure and its stimulating efficacy on the growth and nutrient uptake of maize seedlings / J. Jing et al // *Sci Rep*. – 2020. – Vol. 10, № 1. – P. 17502.
  31. Assessment of Compost-Derived Humic Acids Structure from Ligno-Cellulose Waste by TMAH-Thermochemolysis / F.Z. El Ouaquodi et al // *Waste Biomass Valorization*. – 2019. – Vol. 10, № 9.

– P. 2661-2672.

32. Tomati U. Evolution of Humic Acid Molecular Weight As an Index of Compost Stability / U. Tomati, E. Madejon, E. Galli // *Compost Sci Util.* – 2000. – Vol. 8, № 2. – P. 108-115.

33. Mechanism of middle and low molecular weight humic acids in promoting phosphorus fertilizer uptake efficiency and yield of winter wheat / W. Li et al // *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers.* – 2020. – Vol. 26, № 11. – P. 2043-2050.

34. Study on humic acid-like components, molecular structure and physiological activity / B. Shang et al // *Guocheng Gongcheng Xuebao/The Chinese Journal of Process Engineering.* – 2021. – Vol. 21, № 8. – P. 969-975.

35. Direct observation of macromolecular structures of humic acid by AFM and SEM / C. Chen et al // *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp.* – 2007. – Vol. 302, № 1-3. – P. 121-125.

36. Impacts of forestry drainage on surface peat stoichiometry and physical properties in boreal peatlands in Finland / J. Turunen et al // *Biogeochemistry.* – Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. – 2024. – Vol. 167, № 4. – P. 589-608.

37. Insight into the interaction mechanism of iron ions with soil humic acids. The effect of the pH and chemical properties of humic acids / P. Boguta et al // *J Environ Manage.* – Academic Press. 2019. – Vol. 245. – P. 367-374.

38. The vital function of humic acid with different molecular weights in controlling Cd and Pb bioavailability and toxicity to earthworm (*Eisenia fetida*) in soil / H. Bai et al // *Environmental Pollution.* – Elsevier. 2020. – Vol. 261. – P. 114222.

39. Zhang B. Effects of Different Planting Years of Hazelnut on Soil Organic Carbon and Humic Acid Structural Characteristics / B. Zhang, S. Dou, X. Zhang // *Commun Soil Sci Plant Anal.* – Taylor & Francis. – 2021. – Vol. 52, № 12. – P. 1377-1387.

40. A direct potentiometric titration study of the dissociation of humic acid with selectively blocked functional groups / T. Andjelkovic et al // *Eclética Química.* – Fundação Editora da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP. – 2006. – Vol. 31, № 3. – P. 39-46.

41. Klučáková M. Diffusivity of Cu(II) ions in humic gels - influence of reactive functional groups of humic acids / M. Klučáková, M. Kalina // *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp.* – 2015. – Vol. 483. – P. 162-170.

42. High molecular weight humic-like substances in carbaceous aerosol of Ulaanbaatar city / S. Tserenpil et al // *Mongolian Journal of Chemistry.* – 2018. – Vol. 19, № 45. – P. 5-11.

43. Klucakova M. How Humic Acids Affect the Rheological and Transport Properties of Hydrogels / M. Klucakova, J. Smilek, P. Sedlacek // *Molecules.* – 2019. – Vol. 24, № 8. – P. 1-15.

44. Physicochemical And Antioxidant Properties Of Humic Acids Of Low-Mineralized Peloids Of The Tuzkol Deposit / Zh.K. Kairbekov et al // *Series Chemistry And Technology.* – 2021. – Vol. 447, № 3. – P. 48-53.

45. Reduction mechanism of hexavalent chromium by functional groups of undissolved humic acid and humin fractions of typical black soil from Northeast China / J. Zhang et al // *Environmental Science and Pollution Research.* – 2018. – Vol. 25, № 17. – P. 16913-16921.

46. Chukhareva N. Regularization of peat humic acids functional composition / N. Chukhareva, O. Zarubina, A. Zarubin // *E3S Web of Conferences/ed.* – 2019. – Vol. 98. – P. 02003.

47. Tuning Functional Behavior of Humic Acids through Interactions with Stöber Silica Nanoparticles / G. Pota et al // *Polymers (Basel).* – 2020. – Vol. 12, № 4. – P. 982.

48. The molecular conformation, but not disaggregation, of humic acid in water solution plays a crucial role in promoting plant development in the natural environment / J. Aranaz et al // *Front Plant Sci.* – Frontiers Media S.A. – 2023. – Vol. 14. – P. 1180688.

49. Swift R.S. Gel chromatography of humic acid / R.S. Swift, A.M. Posner // *Journal of Soil Science.* – 1971. – V. 22, № 2. – P. 237-249.

50. Characterization of Humic Substances by Functional Groups and Spectroscopic Methods / M. Eshwar et al // *Int J Curr Microbiol Appl Sci.* – 2017. – Vol. 6, № 10. – P. 1768-1774.

51. Long-term mineral fertilization in paddy soil alters the chemical structures and decreases the fungistatic activities of humic acids / M. Wu et al // *Eur J Soil Sci.* – 2019. – Vol. 70, № 4. – P. 776-785.

52. Barančíková G. Changes of humic acids structure on selected key monitoring localities of arable soils / G. Barančíková // *Rostlinna Vyroba.* – 2002. – Vol. 48, № 1. – P. 40-44.

53. Yao J.J. Adsorption of aflatoxin on montmorillonite modified by low-molecular-weight humic

- acids / J.J. Yao, F.X. Kang, Y.Z. Gao // *Huanjing Kexue/Environmental Science*. – 2012. – Vol. 33, № 3. – P. 958-964.
54. Klučáková M. New possibility for characterization of dissociation behavior of supramolecular electrolytes: results obtained for the International Humic Substances Society standard and reference samples by coulometry / M. Klučáková // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. – 2021. – Vol. 8, № 1. – P. 1-10.
55. Effects of peat fires on the characteristics of humic acid extracted from peat soil in Central Kalimantan, Indonesia / Yustiawati Kihara Y. et al // *Environmental Science and Pollution Research*. – Springer Verlag. 2015. – Vol. 22, № 4. – P. 2384-2395.
56. Characterization of the coal-derived humic acids from Mukah, Sarawak as soil conditioner / S.F. Sim et al // *J Braz Chem Soc. – Sociedade Brasileira de Química*. 2006. – Vol. 17, № 3. – P. 582-587.
57. Physicochemical Characterization and Antioxidant Activity of Humic Acids Isolated from Peat of Various Origins / M.V. Zykova et al // *Molecules*. – 2018. – Vol. 23, № 4. – P. 753.
58. Selective extraction of humic acids from an anthropogenic Amazonian dark earth and from a chemically oxidized charcoal / J.R. Araujo et al // *Biol Fertil Soils*. – Springer Verlag. 2014. – Vol. 50, № 8. – P. 1223-1232.
59. De Souza F. Extraction and characterization of humic acid from coal for the application as a dispersant of ceramic powders / F. De Souza, S.R. Bragança // *J Market Res. – Elsevier Editora Ltda*. 2018. – Vol. 7, № 3. – P. 254-260.
60. Humic substances derived from unconventional resources: extraction, properties, environmental impacts, and prospects / O.T. Ore et al // *Environmental Science and Pollution Research* 2023 30:21. – Springer. 2023. – Vol. 30, № 21. – P. 59106-59127.
61. Methods for obtaining humate-containing fertilizers from brown coal / B. Omarov et al // *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. – Taylor & Francis. 2024.
62. Al-Akbari R. Production of humic and fulvic acid analogs through the ultrasonication of low-rank lignite coals / R. Al-Akbari, A.D. Manasrah, N.N. Nassar // *React Chem Eng. – The Royal Society of Chemistry*. – 2024. – Vol. 9, № 3. – P. 566-582.
63. Process optimization and method validation for efficient valorization of low- grade coal into humic substances / K. Aftab et al // *Fuel. – Elsevier*. 2024. – Vol. 369. – P. 131796.
64. Тейт Р. Органическое вещество почвы / Р. Тейт. – М.: Мир. – 1995. – 400 с.
65. Горовая А.И. Гуминовые вещества / А.И. Горовая, Д.С. Орлов. – Киев: Наук. думка,. – 1995. – 304 с.
66. Production of artificial humic acid from biomass residues by a non-catalytic hydrothermal process / Y. Shao et al // *J Clean Prod*. – 2022. – Vol. 335. – P. 130302.
67. A hydrothermal process to turn waste biomass into artificial fulvic and humic acids for soil remediation / F. Yang et al // *Science of The Total Environment*. – 2019. – Vol. 686. – P. 1140-1151.
68. Zhang Y/ Study on Extraction of Biological Humic Acids from Fermented Furfural Residue - ProQuest / Y. Zhang, G. Cui, G.D.Y. Zhang // *Agricultural Science & Technology*. – 2016. – Vol. 17, № 6. – P. 1442-1445.
69. Chang M.Y., Huang W.J. Hydrothermal biorefinery of spent agricultural biomass into value-added bio-nutrient solution: Comparison between greenhouse and field cropping data / M.Y. Chang, W.J. Huang // *Ind Crops Prod*. – 2018. – Vol. 126. – P. 186-189.
70. Alkali catalysis hydrothermal conversion of cabbage leaf in kitchen waste / W. Junzhe et al // *Chinese Journal of Environmental Engineering*. – 2017. – Vol. 11, № 1. – P. 578-581.
71. Biomass Waste Processing into Artificial Humic Substances / M. Klavins et al // *Environmental and Climate Technologies*. – 2021. – Vol. 25, № 1. – P. 631-639.
72. Potential Hydrothermal-Humification of Vegetable Wastes by Steam Explosion and Structural Characteristics of Humified Fractions / W. Sui et al // *Molecules*. – 2021. – Vol. 26, № 13. – P. 3841.
73. Humic Substances Derived From Biomass Waste During Aerobic Composting and Hydrothermal Treatment: A Review / Z.T. Hu et al // *Front Bioeng Biotechnol*. – 2022. – Vol. 10. – P. 878686.
74. Hydrothermal synthesis of similar mineral-sourced humic acid from food waste and the role of protein / P. Chen et al // *Science of The Total Environment*. – 2022. – Vol. 828. – P. 154440.
75. Wet air oxidation of p-coumaric acid over promoted ceria catalysts / G. Neri et al // *Appl Catal B*. – 2002. – Vol. 38, № 4. – P. 321-329.
76. KOH catalyzed oxidation of kraft lignin to produce green fertilizer / S. Sutradhar et al // *Catal*

Today. – 2022. – Vol. 404. – P. 49-62.

77. Piccolo A. Humic-Like Water-Soluble Lignins from Giant Reed (*Arundo donax* L.) Display Hormone-Like Activity on Plant Growth / D. Savy et al // *J Plant Growth Regul.* – 2017. – Vol. 36, № 4. – P. 995-1001.

78. Water-Soluble Lignins from Different Bioenergy Crops Stimulate the Early Development of Maize (*Zea mays*, L.) / D. Savy et al // *Molecules.* – 2015. – Vol. 20, № 11. – P. 19958-19970.

79. Molecular Characterization of Extracts from Biorefinery Wastes and Evaluation of Their Plant Biostimulation / D. Savy et al // *ACS Sustain Chem Eng.* – 2017. – Vol. 5, № 10. – P. 9023-9031.

80. Humic-like bioactivity on emergence and early growth of maize (*Zea mays* L.) of water-soluble lignins isolated from biomass for energy / D. Savy et al // *Plant Soil.* – 2016. – Vol. 402, № 1-2. – P. 221-233.

81. Mechanistic understanding of humin formation in the conversion of glucose and fructose to 5-hydroxymethylfurfural in [BMIM]Cl ionic liquid / Z. Xu et al // *RSC Adv.* – 2020. – Vol. 10, № 57. – P. 34732-34737.

82. One-Pot Transformation of Technical Lignins into Humic-Like Plant Stimulants through Fenton-Based Advanced Oxidation: Accelerating Natural Fungus-Driven Humification / H.J. Jeong et al // *ACS Omega.* – 2018. – Vol. 3, № 7. – P. 7441-7453.

83. Chemical Pathway and Kinetics of Phenol Oxidation by Fenton's Reagent / J.A. Zazo et al // *Environ Sci Technol.* – 2005. – Vol. 39, № 23. – P. 9295-9302.

84. Conversion of technical lignins into slow-release nitrogenous fertilizers by ammoxidation in liquid phase / D. Meier et al // *Bioresour Technol.* – 1994. – Vol. 49, № 2. – P. 121-128.

85. Fischer K. Nitrogenous Fertilizers from Lignins – A Review / K. Fischer, R. Schiene // *Chemical Modification, Properties, and Usage of Lignin.* – Springer, Boston, MA. 2002. – P. 167-198.

86. Oxidative ammonolysis of technical lignins Part 2. Effect of oxygen pressure / E.A. Capanema et al // *Holzforschung.* – 2001. – Vol. 55, № 4. – P. 405-412.

87. Oxidative ammonolysis of technical lignins. Part 3. Effect of temperature on the reaction rate / E.A. Capanema et al // *Holzforschung.* – 2002. – Vol. 56, № 4. – P. 402-415.

88. Anita S B.K. Oxidative ammonolysis of commercial lignin- a new concept to produce N-modified lignin / S B.K. Anita // *Indian Forester.* – 2000. – Vol. 126, № 6. – P. 643-649.

89. Effects of humic acids in vitro / J. Vašková et al // *In Vitro Cell Dev Biol Anim.* – 2011. – Vol. 47, № 5-6. – P. 376-382.

90. Development Of Humics-Based Detoxicants Of Complex Effect / S.P. Li et al // *Chem. J. Mold.* – 2012. – Vol. 7, № 1. – P. 29-39.

91. He C. Nanomedicine Applications of Hybrid Nanomaterials Built from Metal–Ligand Coordination Bonds: Nanoscale Metal–Organic Frameworks and Nanoscale Coordination Polymers / C. He, D. Liu, W. Lin // *Chem Rev.* – American Chemical Society. 2015. – Vol. 115, № 19. – P. 11079-11108.

92. Humic extracts from hydrochar and Amazonian Anthrosol: Molecular features and metal binding properties using EEM-PARAFAC and 2D FTIR correlation analyses / L. Soares da Silva et al // *Chemosphere.* – 2020. – Vol. 256. – P. 127110.

93. Sorption of copper cations from aqueous solutions by brown coals and humic acids / S.I. Zharebtsov et al // *Solid Fuel Chemistry.* – 2015. – Vol. 49, № 5. – P. 294-303.

94. Preferential Sorption of Tannins at Aluminum Oxide Affects the Electron Exchange Capacities of Dissolved and Sorbed Humic Acid Fractions / E. Subdiaga et al // *Environ Sci Technol.* – 2020. – Vol. 54, № 3. – P. 1837-1847.

95. Linnik P.N. Potential Complexing Ability of Surface Water Organic Matter: I. Role of Various Groups in Metal Ion Binding / P.N. Linnik, V.A. Zhezherya, V.P. Osipenko // *Russ J Gen Chem.* – 2020. – Vol. 90, № 13. – P. 2582-2592.

96. Coupled Manganese Redox Cycling and Organic Carbon Degradation on Mineral Surfaces / D. Ma et al // *Environ Sci Technol.* – 2020. – Vol. 54, № 14. – P. 8801-8810.

97. Role of organic matter and humic substances in the binding and mobility of arsenic in a Gangetic aquifer / S. Kar et al // *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* – 2011. – Vol. 46, № 11. – P. 1231-1238.

98. Silva A.P. Use of electrochemical techniques to characterize methamidophos and humic acid specifically adsorbed onto Pt and PtO films / A.P. Silva, A.E. Carvalho, G. Maia // *J Hazard Mater.* – 2011. – Vol. 186, № 1. – P. 645-650.



99. Milanovskii E.Yu. Amphiphilous components of soil humic substances / E.Yu. Milanovskii // *Eur. Soil Sci.* 2000. – Vol. 33(6). – P. 617-625.
100. Bahvalov, A.V. The elemental composition and amphiphilic properties of humic acids in southern taiga soils / A.V. Bahvalov, M.S. Rozanova, S.Y. Trofimov // *Moscow Univ. Soil Sci. Bull.* 2010. – Vol. 65. – P. 168-171.
101. Milkheev E.Yu. Amphiphilic properties of humic substances in soils of the southern Vitim Plateau (Transbaikalia, Eastern Siberia) / E.Yu. Milkheev, Yu.B. Tsybenov // *Conference Series Earth and Environmental Science.* –2021. – № 908(1). DOI:10.1088/1755-1315/908/1/012034.
102. Nebbioso A. Advances in humeomics: Enhanced structural identification of humic molecules after size fractionation of a soil humic acid / A. Nebbioso, A. Piccolo // *Anal. Chim. Acta.* – 2012. – Vol. 720. – P. 77-90.
103. Woelki G. Thermal investigations of the structure of two humic acid salts by in situ FTIR spectroscopy / G. Woelki, R. Salzer // *Fresenius. J. Anal. Chem.* – 1995. – Vol. 352(5). – P. 529-531.
104. Characterization of insolubilized humic acid and its sorption behaviors / H. Chen et al // *Environ. Geol.* – 2009. – Vol. 57. – P. 1847-1853.
105. Synthesis and characteristics of a novel FeNi<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> magnetic nanocomposites and its application in adsorption of humic acid from simulated wastewater: study of isotherms and kinetics / F. Akbari et al // *Environ. Sci. Pollut. Res.* – 2019. – Vol. 26. – P. 1-12.
106. Effects of peat fires on the characteristics of humic acid extracted from peat soil in Central Kalimantan, Indonesia / Y. Yustiawati Kihara et al // *Environ. Sci. Pollut. Res.* – 2014. – Vol. 22(4). – P. 2384-2395.
107. Fong S.S. Chemical characterization of humic substances occurring in the peats of Sarawak, Malaysia / S.S. Fong, M. Mohamed // *Org. Geochem.* – 2007. – Vol. 38(6). – P. 967-976.
108. Coagulation performance and mechanism analysis of humic acid by using covalently bonded coagulants: effect of pH and matching mechanism of humic acid functional groups / Y. Kong et al // *Environmental Science and Pollution Research.* – 2024. – Vol. 31(15). – P. 22560-22575.
109. Investigation into the role of carboxylic acid and phenolic hydroxyl groups in the plant biostimulant activity of a humic acid purified from an oxidized sub-bituminous coal / R.T. Lamar et al // *Frontiers in Plant Science.* – 2024. – Vol. 15. – P. 1328006.
110. A novel approach for recovery of metals from waste printed circuit boards and simultaneous removal of iron from steel pickling waste liquor by two-step hydrometallurgical method / L. Wang et al // *Waste Management.* – 2018. – Vol. 71. – P. 411-419.
111. Comparison of humic and fulvic acid on remediation of arsenic contaminated soil by electrokinetic technology / J. Li et al // *Chemosphere.* – 2020. – Vol. 241. – P. 125038.
112. Selective enhancement of Mn bioleaching from ferromanganese ores in the presence of electron shuttles using dissimilatory Mn reducing consortia / V. Aishvarya et al // *Hydrometallurgy.* – 2019. – Vol. 186. – P. 269-274.
113. Coal-Derived Humic Substances: Insight into Chemical Structure Parameters and Biomedical Properties / M.V. Zykova et al // *Molecules/* – 2024. – Vol. 29(7). – P. 153.
114. Physicochemical characterization and antioxidant activity of humic acids isolated from peat of various origins / M.V. Zykova et al // *Molecules.* – 2018. – Vol. 23. – P. 753.
115. Senesi N. Application of Electron Spin Resonance (ESR) Spectroscopy in Soil Chemistry / N. Senesi // Springer: New York, NY, USA. – 1990. – Vol. 1. – P. 77-130.
116. Aeschbacher M. Novel electrochemical approach to assess the redox properties of humic substances / M. Aeschbacher, M. Sander, R.P. Schwarzenbach // *Environ. Sci. Technol.* – 2009. – Vol. 44. – P. 87-93.
117. Complement-fixing activity of fulvic acid from shilajit and other natural sources / I.A. Schepetkin et al // *Phytother. Res.* – 2009. – Vol. 23. – P. 373-384.
118. pH-induced shift in the g-tensor components of semiquinone-type radicals in humic acids–DFT and EPR studies / M. Witwicki et al // *Chem. Phys. Lett.* – 2008. – Vol. 462. – P.300-306.
119. Nurmi J.T. Electrochemical properties of natural organic matter (NOM), fractions of nom, and model biogeochemical electron shuttles / J.T. Nurmi, P.G. Tratnyek, // *Environ. Sci. Technol.* – 2002. – Vol. 36. – P. 617-624.
120. Immunomodulating properties of humic acids extracted from oligotrophic sphagnum magellanicum peat / E.S. Trofimova et al // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine.* – 2021. – Vol.170. – P. 461-465.

121. Immuno-modulatory effects of nanoplastics and humic acids in the European seabass (*Dicentrarchus labrax*) / I. Brandts et al // *Journal of Hazardous Materials*. – 2021. – Vol. 414. – P. 125562.
122. Characterization of humic substances in waters and their therapeutic applications-a review / J. Ziemska et al // *Acta Balneologica*. – 2024. – Vol. 179(1). – P. 60-68.
123. Van Rensburg C.E. The antiinflammatory properties of humic substances: a mini review / C.E. Van Rensburg // *Phytotherapy Research*. – 2015. – Vol. 29(6). – P. 791-795.
124. Antiflammatory activity and potential dermatological applications of characterized humic acids from a lignite and a green compost / M. Verrillo et al // *Scientific reports*. – 2022. – Vol. 12(1). – P. 2152.
125. Rusliandi R. The anti-inflammatory activity of humic acid from Borneo peat soil in mice / R. Rusliandi, D.W. Rousdy, M. Mukarlina // *Majalah Obat Tradisional*. – 2020. – Vol. 25(1). – P. 22-28.
126. The effect of dietary humic substances on cellular immunity and blood characteristics in piglets / L. Bujňák et al // *Agriculture*. – 2023. – Vol. 13(3). – P. 636.
127. Humic substances trigger plant immune responses / R.M. da Silva et al // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. – 2023. – Vol. 10(1). – P. 123.
128. Waste to wealth: near-infrared/pH dual-responsive copper-humic acid hydrogel films for Bacteria-infected cutaneous wound healing / K. Zha et al // *ACS nano*. – 2023. – Vol. 17(17). – P. 17199-17216.
129. Haufe S. Humic Acids in Patients with Diarrhoea-Predominant Irritable Bowel Syndrome: Results from A Randomised Controlled Trial / S. Haufe, G. Gammel, I. Schiefke // *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. – 2021. – Vol. 33(1). – P. 25584-25591.
130. El-kelawy M. The influence of supplementing broiler chickens with humic acid or biochar as natural growth promoters on their productive performance, nutrient digestibility, and physiological performance / M. El-kelawy, A.S. Elnaggar, A.E.K. Enass // *Egyptian Poultry Science Journal*. – 2024. – Vol. 44(1). – P. 123-142.
131. Effects of humic acid supplemented feeds on growth performance, hematological parameters and antioxidant capacity on common carp (*Cyprinus carpio*): Humic acid supplemented diets for Common carp / N. Çoban et al // *Marine Reports (Marep)*. – 2024. – Vol. 3(1). – P. 63-76.
132. Protective effects of sodium humate and its zinc and selenium chelate on the oxidative stress, inflammatory, and intestinal barrier damage of *Salmonella Typhimurium*-challenged broiler chickens / Y. Fan et al // *Poultry Science*. – 2024. – № 103(5). – P. 103541.
133. Assessment of the Impact of Humic Acids on Intestinal Microbiota, Gut Integrity, Ileum Morphometry, and Cellular Immunity of Turkey Poults Fed an Aflatoxin B1-Contaminated Diet / J.A. Maguey-González et al // *Toxins*. – 2024. – Vol. 16(3). – P. 122.
134. de Melo B.A.G. The interactions between humic acids and Pluronic F127 produce nanoparticles useful for pharmaceutical applications / B.A.G. de Melo, F.L. Motta, M.H.A. Santana // *J. Nanoparticle Res.* – 2015. – № 17(10). P. 400.
135. Petrov, G.V. Physical and Chemical Characteristic of Aqueous Colloidal Infusions of Medicinal Plants Containing Humic Acids / G.V. Petrov, I.A. Gaidashev, A.V. Syroeshkin // *Int. J. Appl. Pharm.* – 2024. – Vol. 16. – P. 76-82.
136. Preparation of entrapment-based microcolumns for analysis of drug-humic acid interactions by high-performance affinity chromatography / S. Iftekhar et al // *Analytica Chimica Acta*. – 2023. – Vol. 1239. – P. 340629.
137. Therapeutic efficiency of humic acids in intoxications / J. Vašková et al // *Life*. – 2023. – Vol. 13(4). – P. 971.
138. Two Metallic Nanoparticles Formulas of *Phyllostachys heterocycla* Extract Exhibited Potent Cytotoxicity against Ovarian Cancer Cells through Apoptosis Induction / R.F. Abdelhameed et al // *Journal of Cluster Science*. – 2024. – P. 1-13.
139. Shahrajabian M.H. Wild Rue (*Peganum harmala*), an Extraordinary Source of Natural Products and Pharmacological Benefits / M.H. Shahrajabian, W. Sun // In Presented at the 4th International Electronic Conference on Foods. – 2023. – Vol. 15. – P. 30.
140. Study of Smart Bioactive Humic-Polymeric Hydrogel Transdermal Materials K. Lebedeva et al // In Materials Science Forum. – 2023. – Vol. 1096. – P. 121-128.
141. The effect of combining humic and fulvic acids poultice on wound healing in male rats / N. Gheibi et al // *Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery*. – 2024. – Vol. 17(2). – P.105-111.

142. Kargar E. Improved photocatalytic disinfection performance of graphitic carbon nitride through hybridization with humic acid/zinc peroxide: A synergistic generation of antimicrobial reactive oxygen species / E. Kargar, A. Meshkini // Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. – 2024. – Vol. 452. – P. 115577.

143. Deciphering the Roles of Extracellular Polymeric Substances (EPS) in Shaping Disinfection Kinetics through Permanent Removal via Genetic Disruption / H. Sun et al // Environmental Science & Technology. – 2024. – Vol. 58(15). – P. 6552-6563.

### Funding

*This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan Grant No. AP14872241.*

**А. Дәулетбай<sup>1,2\*</sup>, Д. Ханжың<sup>1</sup>, Н.А. Оңалбек<sup>1</sup>, С. Тұрсынболат<sup>2</sup>, А. Далбанбай<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Өл-Фараби даңғылы, 71

<sup>2</sup>Қ.Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,  
050013, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Сәтбаев к-сі, 22

\*e-mail: akbar.dauletbay@kaznu.kz

### ГУМИН ҚЫШҚЫЛДАРЫ: ҚАСИЕТТЕРІ, ҚҰРЫЛЫСЫ ЖӘНЕ ҚОЛДАНЫЛУЫ

Гуминді заттар – көптеген жылдар бойы қоршаған орта факторлары мен тірі организмдердің әсерінен өсімдік және микробтық қалдықтардан түзілетін, тұрақты химиялық құрамы жоқ табиғи қосылыстардың алуан түрлі класы. Екі ғасырға созылған ауқымды зерттеулерге қарамастан, HS құрылымының күрделі және өзгермелі сипаты ғылыми зерттеу нысаны болып қала береді. Бұл заттар, атап айтқанда гумин қышқылдары, фульвоқышқылдары және гумин функционалдық топтары және биодеградацияға төзімділігі арқасында экологиялық және экологиялық процестерде шешуші рөл атқарады. Бұл шолу HS-тің күрделі құрылымы мен қасиеттерін, олардың жіктелуін және табиғатта кездесетінін зерттейді. Ол гумин қышқылдарының құрылымдық фрагменттерін сипаттау үшін ұсынылған әртүрлі үлгілерді бөліп көрсетеді, олардың хош иісті өзектері мен әртүрлі функционалдық топтарын атап көрсетеді. Сондай-ақ олардың полидисперстік табиғатына жататын HS молекулалық массасының таралуының өзгермелілігі және оларды анықтау үшін қолданылатын әдістермен, мысалы, алып тастау хроматографиясы талқыланады. Сонымен қатар, гумин қышқылдарының элементтік және функционалдық құрамы зерттеліп, олардың қышқылдық-негіздік қасиеттері мен ауыр металдарды құрау қабілеті егжей-тегжейлі қарастырылады. Топырақ, шымтезек, көмір және жасанды процестер сияқты табиғи көздерден HS синтезі сілтілі экстракция және гидротермиялық өңдеу сияқты әдістерді көрсетеді. Тотығу аммонолизін және фентон реагентіне негізделген тотығуды қоса алғанда, жасанды гумификациядағы соңғы жетістіктер лигнин мен қалдықтар биомассасынан экологиялық таза гуминді материалдарды өндірудегі әлеуеті үшін қарастырылады. Зерттеу қоршаған ортаның маңыздылығын және HS-ның практикалық қолданылуын атап өтумен аяқталады, әсіресе ауыл шаруашылығында, топырақты өңдеуде және қоршаған ортаны қалпына келтіруде. HS-дің әртүрлі қасиеттері мен синтез әдістері оларды тұрақты материалдық өндіріс пен қоршаған ортаны басқару үшін перспективалы үміткерлер етеді.

**Түйін сөздер:** гумин қышқылы, гуминді заттар, металлогумин кешендері, полимерлі материалдар, электрохимиялық қасиеттер, гумин қышқылының синтезі, гумин қышқылының құрылымы.

**А. Даулетбай<sup>1,2\*</sup>, Д. Ханжың<sup>1</sup>, А.Н. Оңалбек<sup>1</sup>, С. Тұрсынболат<sup>2</sup>, А. Далбанбай<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71

<sup>2</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. Сатпаева, 050013,  
Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатбаева, 22

\*e-mail: akbar.dauletbay@kaznu.kz

### ГУМИНОВЫЕ КИСЛОТЫ: СВОЙСТВА, СТРУКТУРА И ПРИМЕНЕНИЕ

Гуминовые вещества (ГВ) – это разнообразный класс природных соединений без фиксированного химического состава, образующихся из растительных и микробных остатков под действием факторов окружающей среды и живых организмов в течение многих лет. Несмотря на обширные исследования, продолжавшиеся два столетия, сложный и изменчивый характер

структуры ГВ остается предметом научных исследований. Эти вещества, особенно гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумин, играют решающую роль в экологических и экологических процессах из-за их большого количества функциональных групп и устойчивости к биоразложению. В обзоре рассматриваются сложная структура и свойства ГВ, их классификация и распространение в природе. В нем освещаются различные модели, предложенные для описания структурных фрагментов гуминовых кислот, подчеркиваются их ароматические ядра и разнообразные функциональные группы. Обсуждается также изменчивость молекулярно-массового распределения ГВ, обусловленная их полидисперсной природой, а также методы их определения, такие как эксклюзионная хроматография. Кроме того, изучен элементный и функциональный состав гуминовых кислот, уточнены их кислотно-основные свойства и способность к комплексообразованию тяжелых металлов. Освещается синтез ГВ из природных источников, таких как почва, торф, уголь, а также искусственных процессов, демонстрируя такие методы, как щелочная экстракция и гидротермальная обработка. Последние достижения в области искусственной гумификации, включая окислительный аммонолиз и окисление на основе реагента Фентона, рассматриваются на предмет их потенциала в производстве экологически чистых гуминовых материалов из лигнина и биомассы отходов. В заключение исследования подчеркивается экологическая значимость и практическое применение ГВ, особенно в сельском хозяйстве, кондиционировании почвы и восстановлении окружающей среды. Разнообразные свойства и методы синтеза ГВ делают их перспективными кандидатами для устойчивого производства материалов и управления окружающей средой.

**Ключевые слова:** гуминовая кислота, Гуминовые вещества, металлогуминовые комплексы, полимерные материалы, электрохимические свойства, синтез гуминовой кислоты, структура гуминовой кислоты.

#### Information about the authors

**Akbar Dauletbay\*** – PhD, Acting Associate Professor of Department of Analytical, colloid chemistry and TRE, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan; e-mail: akbar.dauletbay@kaznu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0157-1449>.

**Dauren Hanzheng** – junior researcher, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan; e-mail: dkhanzhing@gmail.com

**Akbala Nurlankyzy Ongalbek** – junior researcher, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan; e-mail: onalbek1akbala@gmail.com.

**Satar Tursynbolat** – PhD, Leading researcher, Department of Chemical Processes and Industrial Ecology, Satbayev University, Kazakhstan; e-mail: stursynbolat@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1735-9768>.

**Amantay Dalbanbyi** –Teacher, Department of Chemical Processes and Industrial Ecology, Satbayev University, Kazakhstan; e-mail: a.dalbanbay@satbayev.university

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Ақбар Дәулетбай\*** – PhD доцент м.а. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: akbar.dauletbay@kaznu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0157-1449>.

**Дәурен Ханжың** – КҒҚ, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: dkhanzhing@gmail.com

**Ақбала Нұрланқызы Оңалбек** – КҒҚ, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан; e-mail: onalbek1akbala@gmail.com

**Сатар Тұрсынболат** – PhD, ЖҒҚ, Химиялық процестер және өнеркәсіптік экология кафедрасы, Қ.Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан; e-mail: stursynbolat@gmail.com. ORCID: [orcid.org/0000-0003-1735-9768](https://orcid.org/0000-0003-1735-9768).

**Амантай Далбанбай** – Оқытушы, Химиялық процестер және өнеркәсіптік экология кафедрасы, Қ.Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Қазақстан; e-mail: a.dalbanbay@satbayev.university

#### Сведения об авторах

**Ақбар Даулетбай\*** – PhD, и.о. доцента кафедры аналитической, коллоидной химии и ТРЭ Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан; e-mail: akbar.dauletbay@kaznu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0157-1449>.

**Даурен Ханжын** – МНС, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; e-mail: dkhanzhing@gmail.com

**Ақбала Нурланқызы Оналбек** – МНС, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Казахстан; e-mail: onalbek1akbala@gmail.com

**Сатар Тұрсынболат** – PhD, ВНС, кафедрасы химических процессов и промышленной экологии, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. Сатпаева; e-mail: stursynbolat@gmail.com. ORCID: orcid.org/0000-0003-1735-9768.

**Амантай Далбанбай** – преподаватель кафедры химических процессов и промышленной экологии, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. Сатпаева; e-mail: a.dalbanbay@satbayev.university

Received 28.05.2024

Revised 03.07.2024

Accepted 12.08.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-42](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-42)



FTAXP: 31.17.15

**А.С. Дарменбаева<sup>1\*</sup>, Д.М. Аубакирова<sup>2</sup>, А.А. Орынбекова<sup>1</sup>, Э.А. Байбазарова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,

080000, Қазақстан Республикасы, Тараз қ., Төле би көшесі, 60

<sup>2</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,

070004, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ., Серікбаев көшесі, 19

\*e-mail: maral88@mail.ru

## ТЕМІРҚҰРАМДАС ОКСИДТЕРДІҢ НАНОБӨЛШЕКТЕРІН АЛУ ӘДІСІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа:** Темірқұрамдас оксидтердің нанобөлшектерінің синтезі оларды әр түрлі технологиялық процестерде қолдану мүмкіндігі бар магниттік, каталитикалық және адсорбциялық сияқты бірегей физика-химиялық қасиеттеріне байланысты медицинада, электроникада, экология салаларында қызығушылық тудырады. Осыған байланысты, бұл мақалада темірқұрамдас оксидтердің нанобөлшектерін алу және олардың физика-химиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Металл нанобөлшектерін алуда табиғи полимерлермен тұрақтандырудың маңызы зор екені белгілі. Сол себепті, бұл зерттеуде синтездеу калий гуматымен тұрақтандыру арқылы жоғары температурада жүргізіледі. Алынған темірқұрамдас нанобөлшектердің қасиеттерін зерттеу үшін рентгенфазалық талдау, трансмиссиялы электронды микроскопия, инфрақызыл спектроскопия әдістері қолданылады. Физика-химиялық зерттеу нәтижесінде синтезделген металл нанобөлшектерінің гетерогенділігі және монодисперстілігі анықталады. Синтезделген үлгілердің бөлшектерінің орташа өлшемі 8,3 нм құрады, ал кристалдық тордың параметрі 0,8426 нм болды. ИҚ-спектроскопия әдісімен зерттеу нәтижесі үлгілердің тотығуы туралы болжамды растайды. Сонымен қатар, дайындалған үлгілердің кристалдану дәрежесінің жоғары екені анықталады. Трансмиссиялық электронды микроскопия нәтижесінде нанобөлшектердің өлшемдері бойынша айырмашылық анықталмады. Зерттеу жұмысында қолданылған әдіспен темір нанобөлшектерінің синтезі процесінде таза темір оксиді түзілмейді. Зерттеу нәтижесінде алынған темірқұрамдас оксидтер нанобөлшектерінің бірегей қасиеттері қоғамның өмір сүру сапасын жақсартуға және тұрақты дамуына бағытталған инновациялық технологиялар мен шешімдерді құру үшін перспективалы болып табылады.

**Түйін сөздер.** Темірқұрамдас оксид нанобөлшектері, калий гуматы, гематит, магнетит, маггемит, рентгенфазалық талдау, инфрақызыл спектроскопия.

### Кіріспе

Соңғы екі онжылдықта нанотехнология зерттеудің бірнеше салаларына үлкен үлес қосты және 21 ғасырдағы революциялық технологияның шлюзі болып саналады. Соңғы уақытта бұл технология ғылымның жаңа саласына, сонымен қатар жаңа нанобөлшектер мен оларды қолданудың қуатты құралына айналды [1]. Нанотехнология ғылымы әртүрлі салаларда маңызды қолданбалы жаңа материалдарды жасау үшін атомдар мен молекулаларды басқаруды қамтиды [2]. Наноматериалдар оптикалық, электрлік, магниттік және каталитикалық қасиеттеріне байланысты көп назар аудартты. Белгілі болғандай, наноматериалдардың қасиеттері және олардың әлеуетті қолданылуы фаза, өлшем және морфология арқылы айтарлықтай әсер етеді. Осылайша, басқарылатын және жаңа

морфологиялары бар наноқұрылымды материалдарды синтездеу әдістеріне көп көңіл бөлінеді [3].

Соңғы жылдары металл оксидтерінің наноөлшемді бөлшектері, оның ішінде гематит, магнетит және маггемитті қоса алғандағы темір оксидтері бірегей электрлік, оптикалық және магниттік қасиеттерді көрсететіндіктен бейорганикалық пигменттерді өндіру, магнитті сақтау ортасы, газ датчиктерін жасау сияқты көптеген қосымшалар, сондай-ақ электронды және оптикалық құрылғылар, ақпаратты сақтау, түрлі-түсті бейнелеу, магнитокалориялық салқындату, биоөңдеу, феррофлюид технологиясы және ағынды суларды тазартуға арналған адсорбенттер өндірістерінде қызығушылығы артып келеді.

Темір оксидінің нанобөлшектері биомедициналық қолданудағы перспективалы материал болып табылады, себебі материалдың төмен цитоуыттылығы, жоғары биоүйлесімділігі және көптеген магниттік материал үміткерлерінің арасында магниттік қасиеттері де жоғары болып табылады [4-6].

Магниттік темір оксиді нанобөлшектерінің беттік ауданы үлкен, сондықтан жоғары беттік энергияға ие. Демек, олар беттік энергияларды азайту үшін біріктіруге бейім. Сонымен қатар, қапталмаған темір оксидінің нанобөлшектері жоғары химиялық белсенділікке ие және ауада (әсіресе магнетит) оңай тотығады, бұл әдетте дисперстілікке және магнетизмнің жоғалуына әкеледі [7]. Сондықтан темір оксидінің магниттік нанобөлшектерінің тұрақтылығын сақтау үшін бетті дұрыс қаптау және кейбір тиімді қорғау стратегияларын әзірлеу өте маңызды. Бұл стратегиялар органикалық молекулаларды, соның ішінде шағын органикалық молекулаларды немесе беттік белсенді заттарды, полимерлер мен биомолекулаларды немесе кремний диоксиді, металл немесе бейметалл қарапайым заттар, металл оксиді немесе металл сульфиді сияқты бейорганикалық қабатпен қаптауды немесе олармен жабуды қамтиды. Іс жүзінде, көптеген жағдайларда қорғаныш қабықтар магниттік темір оксидінің нанобөлшектерін тұрақтандырып қана қоймайды, сонымен қатар одан әрі функционалдық үшін де пайдаланылуы мүмкін [8-10].

Сонымен қатар, магниттік темір оксиді нанобөлшектерінің әр түрлі беттік функционалдық стратегияларының құрылымы мен магниттік қасиеттерін дайындаудағы әртүрлі стратегияларға және олардың сәйкес қолданбаларына, сондай-ақ бүкіл әлем бойынша магниттік темір оксиді нанобөлшектерінің функционализациясы бойынша ғылыми жетістіктердің көптігіне қарамастан, құрылымы және өлшемі алдын ала болжанған темірқұрамдас оксид нанобөлшектерін синтездеу әлі де қосымша зерттеулерді талап етеді. Осыған байланысты қазіргі уақытта жоғарыда қарастырылған қасиеттерге ие темірқұрамдас оксидтердің нанобөлшектерін алу және алынған нанобөлшектердің қасиетін зерттеу өзекті болып табылады.

Бұл зерттеудің мақсаты – синтездеудің заманауи әдістерінің негізінде темірқұрамдас оксидтердің нанобөлшектерін алу және олардың физика-химиялық қасиеттерін зерттеу болып табылады.

**Зерттеу әдістері.** Синтездеуге қажетті реактивтер келесідей:  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  және  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; аммоний гидроксиді, 25 масс. % су ерітіндісі; калий гуматы (КГ). Темір оксидінің наноөлшемді үлгісін синтездеу жоғары температурада (80 °C) 1:2 молярлық қатынастағы  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (3,8 г) және  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (11,1 г) тұздарының сулы ерітіндісіне (300 мл) реакция ортасының рН 7,5-7,7 болғанша  $\text{NH}_4\text{OH}$  белгілі көлемін жылдам қосу арқылы сулы моншада жүргізілді. Температураны өлшеу үшін реакциялық қоспаға орналастырылған термометр қолданылды. Ерітіндіде қара тұнба пайда болғаннан кейін алынған коллоидты ерітінді сол температурада жарты сағат ұсталды. Ерітінді бөлме температурасына дейін салқындатылып, темір оксиді нанобөлшектері магнитпен жиналды, одан кейін бірнеше рет тазартылған сумен шайылып, 40°C температурада 4 сағат бойы вакуумда кептірілді.

Рентгенфазалық талдау (РФТ). Үлгілер жалпы мақсаттағы ДРОН-4-0,7 (Ресей) дифрактометрінде зерттелді. Дифрактограмманы жазу үшін қатты және ұнтақ түрдегі үлгілер қолданылды. Рентгендік талдау жазықаралық қашықтықтардың (d) тәжірибелік деректерін және олардың салыстырмалы қарқындылығы «Рентгендік картотекасында» (ASTM) жинақталған ұқсас эталондық деректермен салыстыру арқылы жүргізілді.

Трансмиссиялық электронды микроскопия (ТЭМ). Катализаторлардың электронды микроскопиялық сипаттамалары ЭМК-125 АК микроскопында (1990, КСРО) 32000-160000 үлкейту арқылы алынды. Үлгілер микродифракцияны қолдана отырып, бір сатылы репликалық

экстракция әдісі арқылы дайындалды. Көміртекті қабат ВУП-5 қондырғысында қондырылды, содан кейін тасымалдаушы бір тәулік бойы HF өңделеді. Зерттелетін кешен жабын пленкасына отырғызылды.

### **Зерттеу нәтижелері және ғылыми нәтижелерді талқылау.**

Темірқұрамдас оксидтердің нанобөлшектері ғылым мен техниканың әртүрлі салаларында сұранысқа ие болатын бірегей физика-химиялық қасиеттерге ие. Синтезделген темірқұрамдас оксидтердің нанобөлшектерінің құрылымын, өлшемін және таралуын зерттеу үшін рентген-фазалық талдау (РФТ), трансмиссиялық электронды микроскопия (ТЭМ) және инфрақызыл спектроскопия әдістері қолданылды.

Ең алдымен, мұндай нанобөлшектер кристалдылық пен монофазалықтың жоғары дәрежесін көрсетеді, бұл рентгендік дифракциялық әдістермен расталады. Шағын бөлшектердің өлшеміне және жоғары меншікті бетінің ауданына байланысты олар суперпарамагнетизм сияқты ерекше магниттік қасиеттерді көрсетеді. Бұл оларды магнитті-резонансты бейнелеуге арналған контраст агенттері және дәрі-дәрмектерді мақсатты түрде жеткізуге арналған тасымалдаушылар сияқты медициналық қолданбалар үшін өте қолайлы етеді.

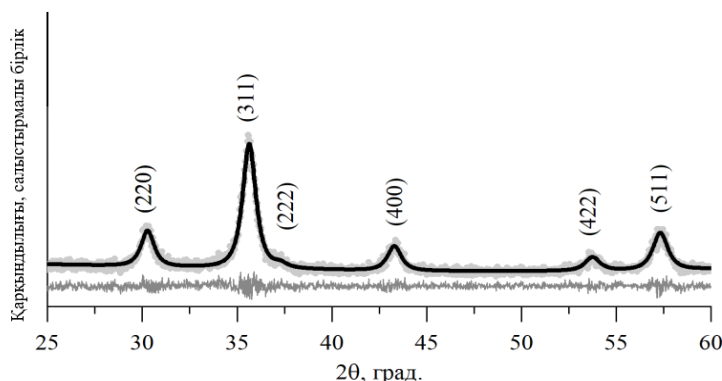
Сонымен қатар, нанобөлшектердің құрылымы мен құрамын температура мен қысым сияқты синтез жағдайларын өзгерту арқылы басқаруға болады. Мысалы, жоғары қысымда синтездеу нәтижесінде жоғары магниттелу мәндері бар фазалар пайда болады, бұл оларды биомедициналық және катализаторлық қолданбаларда пайдалану үшін маңызды. Рентгендік дифракциялық талдау сонымен қатар бөлшектердің өлшемі мен пішінін анықтауға мүмкіндік береді, бұл олардың физикалық-химиялық сипаттамаларын бағалау және одан әрі қолдану үшін өте маңызды.

Алынған үлгілердің дифракциялық профильдері  $Fe_3O_4$  магнетит фазасының кристаллографиялық анықтамалық мәндерімен (1-сурет), атап айтқанда,  $30,1$ ,  $35,4$ ,  $37,1$ ,  $43,1$ ,  $53,4$  және  $56,9^\circ$  рефлекстер сәйкесінше (220), (311), (222), (400), (422), (511) кристаллографиялық жазықтықтарға сәйкес келеді.

Зерттелетін үлгілердің кристалдылық дәрежесінің жоғары екені байқалады, сонымен қоса басқа фазаларға сәйкес келетін шағылысулар анықталмады. Алынған үлгілердің кристалдық құрылымдарының негізгі кристаллографиялық параметрлері тұтас ұнтақ үлгісін модельдеу (WPPM) әдісінің көмегімен есептелді.

Синтезделген темірқұрамдас оксид нанобөлшектерінің кристаллографиялық параметрлері келесідей болды: РФТ әдісімен анықталған бөлшектердің орташа көлемді өлшемі  $8,3$  нм, ал кристалдық тордың параметрі  $0,8426$  нм.

1-суреттен көріп отырғанымыздай, тор параметрлерінің мәндері PDF №19-0629 кристаллографиялық картасының анықтамалық мәндеріне сәйкес келмейтіні анық байқалады. Бұл нанобөлшектердің бетінің меншікті ауданының біршама жоғары болуына байланысты оның беттік қабатында атмосфералық оттегінің ішінара тотығуымен түсіндіріледі.



Сурет 1 – Калий гуматымен тұрақтанған темірқұрамдас оксид нанобөлшектерінің дифракциялық профильдері

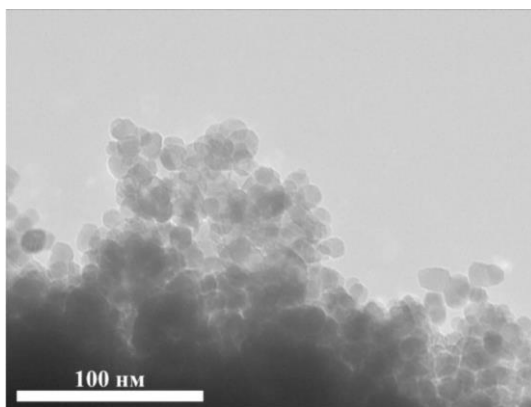
Осылайша, рентгендік фазалық талдау арқылы алынған темірқұрамдас оксидтердің нанобөлшектері тамаша магниттік және құрылымдық қасиеттеріне байланысты медицинада, экологияда және өнеркәсіпте кеңінен қолданылып, технологияларды дамытуға және өмір сүру сапасын жақсартуға жаңа мүмкіндіктер ашады.

ИҚ спектроскопиясы нанобөлшектердің құрылымындағы атомдық байланыстардың тән тербелістерін анықтайды, бұл олардың химиялық құрамы мен функционалдық топтарын анықтауға көмектеседі. Мысалы, зерттеулер магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) және гематит ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) сияқты темір оксидінің нанобөлшектері Fe-O байланысының тербелістеріне сәйкес келетін нақты спектрлік жолақтарын көрсетеді, бұл фазалық күйлерді ажыратуға және олардың құрамы мен тазалығын тазартуға мүмкіндік береді.

Үлгілердің беттік құрылымының гетерогенділігі туралы болжамды растау үшін ИҚ спектроскопия әдісі қолданылды. Зерттеліп отырған үлгіде Fe-O байланыстарына тән жолақтар темір оксидтерінің бірнеше формаларының бар екенін көрсетеді, атап айтқанда, магнетит ( $570\text{ см}^{-1}$ ), маггемит ( $430, 620\text{ см}^{-1}$  және  $685$  және  $725\text{ см}^{-1}$  жолақтары), гематит ( $480$  және  $540\text{ см}^{-1}$  жолақтары). Осылайша, ИҚ-спектроскопия нәтижелері үлгінің беттік құрылымының ішінара тотығуы туралы болжамды растайды.

Дегенмен, синтездеу процесінде жоғары температураны пайдалану материалдың морфологиясына үлкен әсер етеді. Осылайша, 2-суретте ТЭМ микрофотографиялары және сәйкесінше рентгендік фазалық талдау (WPPM әдісі) нәтижелері бойынша синтезделген нанобөлшектердің өлшемдерінің таралуы көрсетілген.

Трансмиссиялық электронды микроскопия атомдық деңгейге дейін жоғары ажыратымдылықтағы нанобөлшектердің құрылымы мен морфологиясын зерттеуге мүмкіндік береді. Бұл нанобөлшектердің ішкі құрылымының егжей-тегжейлерін, сондай-ақ олардың түзілу және түрлену процестерін ашуға мүмкіндік береді.



Сурет 2 – Синтезделген  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -терм-КГ үлгілерінің нанобөлшектерінің ТЭМ микрофотографиясы

Жоғары температурада алынған үлгі монодисперсті болып табылады, ал нанобөлшектердің мөлшері 9,3-тен 8,7 нм-ге дейін ығысады. Нанобөлшектердің өлшемдерінің таралуы арасында айтарлықтай айырмашылықтың жоқтығына назар аударуға болады. Бұл құбылыс дифракциялық заңдылыққа ықпал етпейтін кристалдық бөлшектердің бетінде аморфты компоненттің болуымен түсіндіріледі.

Зерттеулер көрсеткендей, магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) және гематит ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) сияқты темір нанобөлшектері әртүрлі фазалар мен ақауларды қамтитын күрделі ішкі құрылымдарға ие. ТЭМ темір нанобөлшектерінің бетінде оксид қабықтарының түзілуін және өсуін байқауға мүмкіндік береді, бұл олардың тотығу тұрақтылығы мен функционалдық қасиеттерін түсіну үшін маңызды. Мысалы, қалыңдығы бірнеше нанометрлік оксидті қабықшалар нанобөлшектердің магниттік және каталитикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етуі мүмкін.

ТЭМ нанобөлшектердің тотығу және түрлену процестерін зерттеу үшін де пайдаланылуы мүмкін. Зерттеулер көрсеткендей, темір нанобөлшектерінің тотығуы асимметриялы түрде, өзегі мен оксид қабықшасы арасында бос орындар пайда болуы мүмкін, бұл нанобөлшектердің магниттік қасиеттерінің өзгеруіне әкеледі.

**Қорытынды.** Осылайша, бұл мақалада калий гуматымен тұрақтандырылған темірқұрамдас оксидтердің нанобөлшектері синтезделді, алынған нанобөлшектердің физика-химиялық қасиеттері ИҚ-спектроскопия, рентгенфазалық талдау және электронды микроскопия сияқты заманауи әдістердің көмегімен зерттелді. Зерттеу барысында қолданылған әдіс негізінде темірқұрамдас оксидтердің нанобөлшектерінің синтезі процесінде



таза темір оксиді түзуілмейді деп қорытындылауға болады. Синтезделген темірқұрамдас оксид нанобөлшектерін катализатор ретінде, сонымен қатар дәрілік заттарды мақсатты жеткізу үшін медицинада пайдалану мүмкіндіктерінің бар екенін атап өтуге болады.

### Әдебиеттер тізімі

1. Nattah A.M. An Overview of Iron Oxide Nanoparticles: Characterisation, Synthesis, and Potential Applications / A.M. Nattah, A. Hashim // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. – 2022. – Vol. 20, № 1. – P. 56-58.
2. Recent progress in the synthesis of inorganic nanoparticles / C.N.R. Rao et al. // Dalton Transactions. – 2012. – Vol. 41, № 17. – P. 5089-5120.
3. Size-Controlled Synthesis of Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles and Their Surface Coating by Gold for Biomedical Applications / H. Maleki et al // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2012. – Vol. 324, № 23. – P. 3997-4005.
4. Superparamagnetic iron oxide nanoparticles-Current and prospective medical applications / J. Dulińska-Litewka et al. // Materials. – 2019. – Vol. 12, № 4. – C. 617.
5. The Preparation of Magnetic Nanoparticles for Applications in Biomedicine / P. Tartaj et al // Journal of Physics D: applied physics. – 2003. – Vol. 36. – P. 49-51.
6. A review on synthesis, characterization and potential biological applications of superparamagnetic iron oxide nanoparticles / A.V. Samrot et al // Current Research in Green and Sustainable Chemistry. – 2021. – Т. 4. – С. 100042.
7. Magnetic iron oxide nanoparticle (IONP) synthesis to applications: present and future / N. Ajinkya et al // Materials. – 2020. – Vol. 13, № 20. – P. 4644.
8. Surface modification of magnetic iron oxide nanoparticles / N. Zhu et al // Nanomaterials. – 2018. – Vol. 8, № 10. – C. 810.
9. Comparative characterization of aqueous suspensions of magnetic iron oxide nanoparticles with different phase compositions / A.S. Kovalenko et al // Colloid Journal. – 2023. – Vol. 85, № 3. – P. 389-397.
10. Sangaiya P. A review on iron oxide nanoparticles and their biomedical applications / P. Sangaiya, R. Jayaprakash // Journal of Superconductivity and Novel Magnetism. – 2018. – Vol. 31. – P. 3397-3413.

**А.С. Дарменбаева<sup>1\*</sup>, Д.М. Аубакирова<sup>2</sup>, А.А. Орынбекова<sup>1</sup>, Э.А. Байбазарова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати,  
080000, Республика Казахстан, г. Тараз, ул. Толе би, 60

<sup>2</sup>Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, 070004, Республика  
Казахстан, г. Усть-Каменогорск, улица Серикбаева, 19

\*e-mail: maral88@mail.ru

### МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОКСИДОВ И ИЗУЧЕНИЯ ИХ СВОЙСТВ

*Синтез наночастиц железосодержащих оксидов представляет интерес в медицине, электронике и экологии благодаря их уникальным физическим и химическим свойствам, таким как магнитные, каталитические и адсорбционные свойства, которые позволяют использовать их в различных технологических процессах. В связи с этим в данной статье представлены результаты получения наночастиц железосодержащих оксидов и исследования их физических и химических свойств. Известно, что стабилизация природными полимерами имеет большое значение при получении наночастиц металлов. Поэтому в данной работе синтез проводится при высокой температуре путем стабилизации гуматом калия. Для изучения свойств полученных железосодержащих наночастиц использованы методы рентгенофазового анализа, просвечивающей электронной микроскопии и инфракрасной спектроскопии. В результате физико-химических исследований установлена гетерогенность и монодисперсность синтезированных наночастиц металлов. Средний размер частиц синтезированных образцов составил 8,3 нм, параметр кристаллической решетки 0,8426 нм. Результат исследования методом ИК-спектроскопии подтверждает предположение об окислении образцов. Кроме того, установлено, что приготовленные образцы имеют высокую степень кристаллизации. В результате просвечивающей электронной микроскопии различий в размерах наночастиц не обнаружено. Чистый*

оксид железа в процессе синтеза наночастиц железа методом, использованным в исследовательской работе, не образуется. Полученные в результате исследований уникальные свойства наночастиц железосодержащих оксидов перспективны для создания инновационных технологий и решений, направленных на улучшение качества жизни и устойчивое развитие общества.

**Ключевые слова:** Наночастицы железосодержащих оксидов, гумат калия, гематит, магнетит, маггемит, рентгенофазовый анализ, инфракрасная спектроскопия.

**A.S. Darmenbayeva<sup>1\*</sup>, D.M. Aubakirova<sup>2</sup>, A.A. Orynbekova<sup>1</sup>, E.A. Baybazarova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> M.Kh. Dulaty Taraz Regional University,  
080000, Republic of Kazakhstan, Taraz, Tole bi st., 60

<sup>2</sup> D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,  
070004, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Serikbaev st., 19

\*e-mail: maral88@mail.ru

## METHOD FOR OBTAINING NANOPARTICLES OF IRON-CONTAINING OXIDES AND STUDYING THEIR PROPERTIES

*The synthesis of iron-containing oxide nanoparticles is of interest in medicine, electronics and ecology due to their unique physical and chemical properties, such as magnetic, catalytic and adsorption properties, which allow their use in various technological processes. In this regard, this article presents the results of obtaining nanoparticles of iron-containing oxides and studying their physical and chemical properties. It is known that stabilization with natural polymers is of great importance in the production of metal nanoparticles. Therefore, in this work, the synthesis is carried out at high temperature by stabilization with potassium humate. To study the properties of the resulting iron-containing nanoparticles, methods of X-ray phase analysis, transmission electron microscopy and infrared spectroscopy were used. As a result of physicochemical studies, the heterogeneity and monodispersity of the synthesized metal nanoparticles was established. The average particle size of the synthesized samples was 8.3 nm, the crystal lattice parameter was 0.8426 nm. The result of the study using IR spectroscopy confirms the assumption of oxidation of the samples. In addition, it was found that the prepared samples have a high degree of crystallization. Transmission electron microscopy revealed no differences in the sizes of nanoparticles. Pure iron oxide is not formed during the synthesis of iron nanoparticles using the method used in the research work. The unique properties of iron-containing oxide nanoparticles obtained as a result of research are promising for the creation of innovative technologies and solutions aimed at improving the quality of life and sustainable development of society.*

**Key words:** Nanoparticles of iron-containing oxides, potassium humate, hematite, magnetite, maghemite, X-ray phase analysis, infrared spectroscopy.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Ақмарал Сабетбекқызы Дарменбаева\*** – PhD, М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, «Химия және химиялық технология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Қазақстан Республикасы, e-mail: maral88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2974-0398>.

**Данагуль Машановна Аубакирова** – PhD, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің ғылыми қызметкері, Қазақстан Республикасы, e-mail: d\_8406@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9818-9854>.

**Ақмарал Абаевна Орынбекова** – М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, «Химия және химиялық технология» кафедрасының магистранты, Қазақстан Республикасы; e-mail: maralzhanbo@gmail.com

**Эльвира Адильбековна Байбазарова** – М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, «Химия және химиялық технология» кафедрасының аға оқытушысы, Қазақстан Республикасы, e-mail: evisko\_87\_87@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7059-9093>.

### Сведения об авторах

**Ақмарал Сабетбекқызы Дарменбаева\*** – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Химия и химическая технология» Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати, Республика Казахстан, e-mail: maral88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2974-0398>.

**Данагуль Машановна Аубакирова** – PhD, научный сотрудник Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева, Республика Казахстан, e-mail: d\_8406@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9818-9854>.

**Ақмарал Абаевна Орынбекова** – магистрант кафедры «Химия и химическая технология» Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати, Республика Казахстан. e-mail: maralzhanbo@gmail.com

**Эльвира Адильбековна Байбазарова** – старший преподаватель кафедры «Химия и химическая технология» Таразского регионального университета им. М.Х. Дулати, Республика Казахстан, e-mail: evisko\_87\_87@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7059-9093>.

#### Information about the authors

**Akmaral Darmenbayeva\*** – PhD, Associate Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technology, M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Republic of Kazakhstan, e-mail: maral88@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2974-0398>.

**Danagul Aubakirova** – PhD, researcher at D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Republic of Kazakhstan, e-mail: d\_8406@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9818-9854>.

**Akmaral Orynbekova** – master's student of the department of «Chemistry and Chemical Technology» of M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Republic of Kazakhstan. e-mail: maralzhanbo@gmail.com

**Elvira Baybazarova** – senior lecturer at the Department of Chemistry and Chemical Technology, M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Republic of Kazakhstan, e-mail: evisko\_87\_87@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7059-9093>.

Редакцияға енуі 28.06.2024

Өңдеуден кейін түсуі 28.08.2024

Жариялауға қабылданды 29.08.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-43](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-43)



MPHTI: 61.53.91

**Е.И. Иманбаев<sup>†</sup>, Е. Тилеуберди<sup>1</sup>, Д. Мукталы<sup>1</sup>, А.Н. Боранбаева<sup>2</sup>, Б. Серкебаева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Институт проблем горения, Алматы,

050012, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 172

<sup>2</sup>Университет Есенова,

130000, Республика Казахстан, г. Актау, микр-н 32

<sup>3</sup>Филиал ТОО «КМГ Инжиниринг» «КазНИПИМунайгаз»,

R00P0D6, Республика Казахстан, Мангистауская область, г.Актау, 35 мкр, участок 6/1

\*e-mail: erzhan.imanbayev@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОДИФИКАЦИИ БИТУМОВ НЕФТЕШЛАМАМИ

**Аннотация:** В настоящее время в мире ученые рассматривают возможность использования нефтешламов в качестве вторичного сырья для различных целей. Известно, что применяемые в стране методы переработки некоторых нефтеотходов экономически неэффективны. Применение нефтешламов как вторичного сырья представляется одним из основных направлений в использовании их при модификации битумов и имеет большое практическое значение. В научно-исследовательской работе изучался состав и свойства нефтяных шламов Мангистауской области и возможность их потенциального использования для получения модифицированных битумов. Из проведенного лабораторного исследования установлено, что можно применять нефтешламы в качестве наполнителя при модификации битумов в сочетании со специальными модификаторами. В полученных образцах выявлено улучшение качества полученной смеси. Такой подход решает экологические проблемы по утилизации нефтеотходов. Результаты исследования подтверждают, что выбранные нефтешламы по своим физико-химическим характеристикам пригодны для использования в модифицировании дорожностроительных материалов. Представленная принципиальная технологическая схема модификации битумов нефтешламами позволяет нивелировать проблему утилизации нефтяных отходов с получением полимерно-битумного вяжущего и позволяет включить заключенный в нефтешламах ресурсный потенциал в технологический процесс.

**Ключевые слова:** нефтешламы, нефтяной битум, модификация, физико-химические характеристики, модификаторы.

### Введение

Вместе с увеличением объема промышленного производства растёт количество промышленных отходов. Проблема ликвидации отходов, накопленных в результате деятельности предприятий нефтегазового комплекса, стоит достаточно остро, что в первую очередь связано с существенным ростом объемов добычи нефти и газа. Экологические

исследования, проведенные в последние десятилетия во многих странах мира, показали все возрастающее разрушительное воздействие антропогенных факторов на окружающую среду, которое привело ее на грань экологического кризиса. В настоящее время в мире ежегодно накапливается более 60 миллионов тонн нефтяных шламов [1-5]. В связи с увеличением спроса на нефтепродукты увеличивается и общий объем производства нефтешламов. Высокий рост добычи и переработки нефти во всем мире приводит к тому, что уровень загрязнения окружающей среды нефтепродуктами в настоящее время приобретает глобальный характер. В окружающую среду из нефтехимического производства попадают все больше новых ядовитых веществ, часть этих веществ накапливается в атмосфере, биосфере и гидросфере, что приводит к негативным экологическим последствиям. Накопление и хранение нефтешламов осуществляется в открытых земляных резервуарах – нефтешламовых амбарах различной конструкции. В связи с возрастающими требованиями к охране окружающей среды проблема утилизации нефтешламов и ликвидации нефтешламовых амбаров из года в год приобретает все большее значение.

Нефтяной шлам обычно содержит 10-50 мас. % углеводородов, 6-10 мас. % минеральных веществ [6]. Количество нефтешламов, образующихся на нефтеперерабатывающих заводах, зависит от многих факторов и условий, включая мощность нефтеперерабатывающего завода, методы хранения нефти, процессы нефтепереработки в дополнение к свойствам сырой нефти, таким как плотность и вязкость. Однако, как правило, на каждые 500 тонн переработанной сырой нефти образуется одна тонна нефтешлама [7, 8].

В работе [9] показано что в Китае количество нефтешлама, образовавшегося на нефтеперерабатывающих заводах и нефтяных месторождениях, в 2006 г. составило около  $450 \cdot 10^3$  тонн. К 2011 году это значение увеличилось до  $3 \cdot 10^6$  тонн. Исследование, проведенное Агентством по охране окружающей среды США, показало, что в США каждый нефтеперерабатывающий завод производит в среднем  $30 \cdot 10^3$  тонн нефтешлама в год. По оценке авторов [10, 11] на нефтеперерабатывающих заводах Казахстана и стран СНГ образуется около 400-450 тыс. т нефтешламов в год, а их общий объем составляет 7,6 млн т. Нефтяные шламы обычно предлагают утилизировать или перерабатывать в масла, пригодные для повторного использования. Поэтому возникает необходимость определения их состава и воздействия на окружающую среду для эффективной переработки в масла.

В работе [12] была исследована модификация битума с добавлением нефтяных шламов. По результатам исследования выявлено, что компоненты нефтешламов приводит к снижению стабильности битума. Добавление серы при модификации битумов с нефтешламами привело к уменьшению сопротивления битумного вяжущего. Однако, добавление готового СБС-полимера привело к положительному эффекту, что увеличило окислительную стойкость битумных образцов. По результатам анализа установлено, что термическая стойкость асфальтобетонной смеси увеличивается от 25 до 50% при добавлении серы и на 2-7% при добавлении СБС-полимера.

Указом Президента от 30 мая 2013 года № 577 утверждена концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике». Согласно данной Концепции, к 2030 году доля переработки отходов должна быть доведена до 40%, к 2050 году – до 50%. В этой связи, данное научное направление имеет высокую значимость в утилизации промышленных отходов и способствуют снижению техногенной нагрузки на окружающую среду.

Анализ литературных данных показывает, что в исследованиях в этом направлении имеется принципиальный пробел. Он заключается в том, что для большинства видов нефтешламов нет единой технологии для утилизации нефтешламов, позволяющей получить вторичное сырье. То есть существующие технологии переработки нефтешламов предусматривают получение на его основе печного топлива, мазута и нефти, однако использование таких способов для суспензионных и битуминозных типов шламов, содержащих тяжелые фракции углеводородов (асфальтены и смолы) и большое количество минеральных компонентов, неэкономично.

Целью данного исследования является определение состава нефтяного шлама, образующегося на нефтеперерабатывающем предприятии, для изучения возможности применения для получения модифицированных битумов.

## Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали нефтешламы из амбаров, полигона, из шламонакопителей и отстойника месторождений Каражанбас, Жетыбай и Узень.

Для определения содержания органической части нефтешламов использовали метод экстракции органическим растворителем (бензолом) в аппарате Сокслета. Содержание воды в нефтешламе определяли по ГОСТ 2477-65. Сущность метода состоит в нагревании пробы нефтепродукта с нерастворимым в воде растворителем и измерении объема сконденсированной воды. Содержание металлов определено на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «Спектроскан Макс-G». Концентрация хлористых солей в нефти определена согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 21534-76. Сущность метода заключается в извлечении хлористых солей из нефти водой и индикаторном титровании их в водной вытяжке. Массовое содержание механических примесей определено согласно ГОСТ 6370-83, сущность которого заключается в фильтровании испытуемых продуктов с предварительным растворением медленно фильтрующихся продуктов в толуоле, промывании осадка на фильтре растворителем с последующим высушиванием и взвешиванием. Определение плотности нефтешлама проведено с использованием пикнометра по ГОСТ 3900-85. Фракционный состав органической части определяли по ASTM 2887 на газовом хроматографе Кристалл 5000.2. Вещественный состав органической части нефтешламов определяли методом колоночной хроматографии с использованием растворителей и их смесей.

Для модификации битумов нефтешламами приготовили нагретый битум в реакторе до 180°C, добавляли определенное количество нефтешлама от 20 до 40 мас. % от массы битума и модификатора типа СБС, затем смешивали в течение 3 часов со скоростью 1000 оборотов в минуту. После остывания образцов были определены их физико-механические показатели. Для установления соответствия модифицированного битума требованиям технических условий (ТУ) для полимер-битумных вяжущих определены следующие основные физико-механические характеристики: Температуру размягчения определяли методом «Кольцо и шар» по СТ РК 1227. Пенетрация определяется пенетрометром по СТ РК 1226. Растяжимость определяли дуктилометром ЦКБ-974Н по СТ РК 1374. Температура хрупкости по Фраасу определяли на аппарате для определения температуры хрупкости битумов АТХ-04 по СТ РК 1229.

В качестве модификатора для увеличения совместимости битума с компонентами нефтешламов использовали готовый полимер СБС-01-10 (стирол-бутадиен-стирол), SBS LG-501 (LG Luprene, Южная Корея), SBS Luprene LG-501S (LG Chem., Южная Корея), SBS T6302L (Shanghai Fuyou International Trading Co., Китай), Elvaloy (США).

## Результаты и обсуждение

Из таблицы 1 видно, что в составе нефтешламов содержание механических примесей очень мало (0,0025 мас. %). Легкие фракции нефти не полностью испарились, выход фракции до 200°C составил 21,5 мас. %, а до 300°C – 38,2 мас. %. Массовое содержание серы в нефти составило 1,2%, парафинов 18,5% и характеризуется высокой плотностью (0,92 г/см<sup>3</sup>) и высокой кинематической вязкостью (140,4 мм<sup>2</sup>/сек).

Таблица 1 – Основные физико-химические характеристики нефтешлама месторождения Узень

Название параметров	Результат испытаний
Плотность при температуре 20°C, кг/м <sup>3</sup>	920,3
Содержание парафина, мас. %	18,5
Содержание воды, мас. %	0,0
Концентрация хлористых солей, мг/дм <sup>3</sup>	21,5
Содержание механических примесей, мас. %	0,0025
Температура потери текучести, °C	– 6,0
Содержание серы, мас. %	1,2
Вязкость кинематическая при 50°C, мм <sup>2</sup> /сек	140,4

Как видно из таблицы 2, нефтешлам месторождения Жетыбай характеризуется высоким содержанием воды (38,9%) и механических примесей (37,8%). Увеличение механических примесей в отстойниках объясняется тем, что при коалесценции капель воды на границе

раздела фаз происходит концентрирование механических примесей и частиц стабилизаторов в промежуточном слое, поскольку механические примеси, входящие в состав защитных оболочек глобул воды, не переходят в водную фазу. Содержание смолы составляет 8,4 %. На основе полученных результатов установлено, что в составе нефтешламов имеется значительное количество тяжелых фракций нефти. При разных условиях и источниках накопления нефтешламов происходит постепенное усреднение состава нефтяных шламов.

Таблица 2 – Основные физико-химические характеристики нефтешлама месторождения Жетыбай

Наименование показателя	Результат испытаний
Содержание воды, мас. %	38,9
Содержание механических примесей, мас. %	37,8
Содержание хлористых солей, мг/л	2339,4
Содержание парафина, мас. %	22,5
Содержание смол, мас. %	8,4
Содержание асфальтенов, мас. %	0,5

В таблице 3 представлены физико-химические свойства и состав нефтяных шламов месторождения Каражанбас разного происхождения.

Таблица 3 – Физико-химические свойства и состав нефтешламов месторождения Каражанбас

Наименование показателя	Виды нефтешламов			
	Амбар	Полигон	Шламонакопитель №1	Шламонакопитель № 2
Содержание воды, мас. %	13,0	14,2	15,6	40,7
Плотность нефтешлама, г/см <sup>3</sup>	0,98	–	1,81	1,58
Содержание хлористых солей, мг/л	39303,5	1955,4	7011,4	10745,7
Содержание минеральной части, мас. %	0,69	53,9	69,5	49,4
Органическая часть, мас. %	86,3	31,9	14,9	9,9
В том числе:				
парафины	11,5	0,32	0,49	0,32
асфальтены	19,8	6,6	0,95	0,65
смолы	3,7	1,8	3,31	1,94
парафиновые углеводороды	62,9	77,48	67,18	74,06
нафтеновые углеводороды	–	13,69	11,56	9,34
ароматические углеводороды	2,1	0,11	16,51	13,69
Фракционный состав, % об.				
Н.к. – 60°C	–	–	0,69	1,77
60-100°C	0,12	2,32	2,34	1,77
100-125°C	0,15	2,32	3,48	2,81
125-150°C	0,15	2,94	3,60	3,77
150-170°C	0,26	3,39	4,39	5,65
170-200°C	0,96	4,47	7,24	17,46
200-225°C	2,47	5,96	7,37	18,44
225-250°C	4,30	6,56	11,75	21,83
250-285°C	10,78	11,73	18,51	26,51
285-300°C	14,89	15,11	22,58	29,28
остаток	65,92	84,89	77,42	70,72
свинец (Pb), ppm	27	169	13,1	17,5
никель (Ni), ppm	45	43	31,3	42,3
железо (Fe), ppm	490	1996,6	2556,2	617,1
марганец (Mn), ppm	1	156	41,3	5,6
ванадий (V), ppm	96	111	131,8	229,5
цинк (Zn), ppm	3	56	2,9	6,0
Плотность органической части, г/см <sup>3</sup>	0,947	0,932	0,845	0,836

Результаты испытаний показали, что лучшие показатели качества углеводородной части характерны для нефтешламов, полученных из накопительного резервуара. Один из важных показателей, на который необходимо ориентироваться при оценке качества - это фракционный состав, который позволяет выбрать наиболее оптимальный способ переработки нефти. Из таблицы 3 наглядно видно распределение по фракциям, в частности, среди легких бензиновых фракций, максимальная доля содержится в продукте из шламонакопителя № 2 (17,5%), керосиновых фракций в продуктах из шламонакопителей № 1 и № 2 (22,5 и 29% соответственно) и тяжелых масляных фракций около 20%.

Среди обнаруженных металлов огромный интерес представляет ванадий. В настоящее время ванадий главным образом используется в качестве добавки к стали для обеспечения большей прочности и коррозионной стойкости. Он также примечателен тем, что может находиться в четырех различных степенях окисления, что позволяет использовать его в качестве катализатора при получении серной кислоты. В будущем его будут использовать в основном в ванадиевых окислительно-восстановительных батареях для накопления и хранения энергии в больших масштабах, особенно в сочетании с источниками солнечной и ветровой энергии. Ванадий все чаще используется в высокопрочных металлах в аэрокосмической и транспортной промышленности. Согласно полученным результатам таблицы 3, содержание ванадия во всех пробах варьирует от 96 до 230 ppm. Большое содержание наблюдается в пробах из накопительных резервуаров 132 и 230 ppm. Известно, что стабилизаторами эмульсий и нефтяных шламов являются механические примеси. В изучаемых образцах установлено высокое содержание механических примесей. Вместе с тем, данные отложения содержат в составе достаточно высокое содержание смолисто-асфальтовых компонентов – природных эмульгаторов, что способствует высокой стабильности нефтяных шламов. Содержание железа в составе нефтешламов свидетельствует о присутствии продуктов коррозии.

Ввиду того, что в нефтешламах месторождения Каражанбас содержатся ценные металлы, для модификации битумов были выбраны нефтешламы месторождений Узень и Жетыбай. Нефтешлам месторождения Жетыбай представляет собой малоподвижную массу с высоким содержанием парафинистых углеводородов. Результаты анализа показывают, что с увеличением содержания добавляемого нефтешлама более 30 % по отношению к битуму, не привело к положительным результатам (табл. 4). Вяжущее с содержанием 25% нефтешлама по показателям технически удовлетворяет требования ТУ на ПБВ 60. С увеличением количества добавляемого нефтешлама температура размягчения по КиШ незначительно повышается, но затем при добавке 15-20% снижается. Пенетрация битумных вяжущих понижается, но затем при добавке 20 % повышается. Растяжимость полученных образцов достигает максимального значения при добавлении 20 % нефтешлама. Вяжущее, с содержанием менее 15% нефтешлама по техническим показателям, соответствует нормативным значениям ПБВ 40.

Таблица 4 – Физико-механические характеристики модифицированных битумов с нефтешламом месторождения Жетыбай

Содержание нефтешлама, мас. %	Пенетрация	Температура размягчения, °С	Растяжимость, см
5	49	54	21
10	45	67	17
15	40	53	22
20	79	57	27
25	61	73	20
30	57	74	13
35	51	78	9
40	46	85	8
Требования по ТУ ПБВ 40	40	Не менее 56	Не менее 15
Требования по ТУ ПБВ 60	60	Не менее 54	Не менее 25

Как видно из таблицы 5, с уменьшением количества нефтешлама наблюдается повышение, затем снижение пенетрации. С увеличением содержания нефтешлама растяжимость битумных вяжущих понижается. Размягчение битумных вяжущих по КиШ уменьшается при содержании 35% нефтешлама, затем резко повышается. Результаты

испытаний показали, что из полученных образцов модифицированных битумов с нефтешламом из месторождения Узень при содержании 40% соответствует фактическим показателям требований по ТУ ПБВ 40. Вяжущее с содержанием 20% нефтешлама по показателям технически удовлетворяет требования ТУ на ПБВ 90.

Полученные данные показывают структурирование битума, вызванного взаимодействием парафинафтеновых углеводородов с полимерной составляющей нефтешлама. Но повышенное содержание нефтешлама более 30% может привести к набуханию полимеров и разрушению структурирования битума в углеводородных растворителях. Необходимо отметить, что минимальные значения растяжимости битумов с увеличением содержания нефтешлама свидетельствуют о наличии в готовом продукте парафиновых соединений. Повышение содержания нефтешлама приводит к образованию наиболее прочной коллоидной системы битума.

Таблица 5 – Физико-механические характеристики модифицированных битумов с нефтешламом месторождения Узень

Наименование показателя	Содержание нефтешлама, мас. %					ПБВ 40	ПБВ 90
	20	25	30	35	40		
Пенетрация	40	96	100	86	87	40	90
Температура размягчения, °С	59	46	58	63	71	Не менее 56	Не менее 51
Растяжимость, см	30	24	27	17	14	Не менее 15	Не менее 30

Были проведены лабораторные исследования по изучению эффективности влияния различных модификаторов на свойства модифицированных битумов. Как видно из таблицы 6 модифицированный битум с модификатором Elvaloy при содержании 1,5% удовлетворяет требования ТУ ПБВ 130 по пенетрации, температуре размягчения и температуре хрупкости, но растяжимость битумных вяжущих не отвечает требованиям. Такое явление происходит из-за повышенной концентрации используемого нефтешлама (20%), вследствие которого парафиновые соединения не вступают в реакцию компонентами битума, а играют роль наполнителя в битумной массе.

Таблица 6 – Физико-механические характеристики модифицированных битумов с нефтешламом месторождения Узень и различными модификаторами

Наименования показателя	Содержание модификатора, мас. %				ПБВ 60	ПБВ 90	ПБВЭ 130
	1,5% Elvaloy	4% SBS LG-501	4% SBS Luprene	6% SBS T6302L			
Пенетрация	131	99	103	75	60	90	91-130
Температура размягчения по КиШ, °С	56	47	47	58	Не менее 54	Не менее 51	Не менее 51
Растяжимость, см	41,5	39	63	31,5	Не менее 25	Не менее 30	Не менее 65
Температура хрупкости, °С	-23,8	-21,1	-23,7	-23,9	Не более -20	Не более -25	Не более -25

Результаты испытаний показали, что полученные образцы модифицированных битумов с модификаторами SBS LG-501 и SBS Luprene LG-501S соответствует фактическим показателям требований по ТУ ПБВ 90, но только температура размягчения на 4 показателя ниже, чем требования технических условий для полимер-битумных вяжущих. Вяжущее с содержанием 6% SBS T6302L модификатора по показателям технически удовлетворяет требования ТУ на ПБВ 60. Повышение температуры хрупкости объясняется тем, что повышенное содержание полимера приводит к прочному сшиванию битумных компонентов.

В таблице 7 представлены результаты исследования модификации битумов с нефтешламами месторождения Жетыбай в соотношении битум/нефтешлам (80/20) при



различном содержании модификатора. Результаты испытаний показали несовместимость системы битум/нефтешлам с модификатором Elvaloy и что оно удовлетворяет требования ТУ ПБВ 90 только по двум показателям: глубина проникновения иглы и температура хрупкости. Как видно из таблицы 7, полученные образцы модифицированных битумов с модификаторами SBS LG-501 и SBS T6302L по всем показателям отвечают требованиям ТУ на ПБВ 60, но только температура хрупкости на 3 показателя выше, чем в требованиях ТУ полимер-битумных вяжущих.

Таблица 7 – Физико-механические характеристики модифицированных битумов с нефтешламом месторождения Жетыбай и различными модификаторами

Наименования показателя	Содержание модификатора, мас. %			ПБВ 60	ПБВЭ 90
	1,5% Elvaloy	4% SBS LG-501	6% SBS T6302L		
Пенетрация	83	70	68	60	61-90
Температура размягчения по КиШ, °С	52	54	54	Не менее 54	Не менее 54
Растяжимость см	51,5	77	29	Не менее 25	Не менее 65
Температура хрупкости, °С	-19,4	-18,2	-23	Не более -20	Не более -25

Из проведенного лабораторного исследования установлено, что можно применять нефтешламы в качестве наполнителя при модификации битумов. В нескольких образцах показано повышение качества смеси, увеличение прочности, кроме того, решаются экологические вопросы по утилизации отходов нефтепроизводства с наименьшими экологическими нагрузками на окружающую среду.

Исходя из результатов проведенных исследований была разработана принципиальная технологическая схема переработки нефтесодержащих отходов с получением вторичной продукции в виде битумных композиций (рис. 1). Модификация битумов нефтешламами по данной технологии осуществляется следующим образом: нефтешлам поступает в обогреваемый блок бункер (1), где разогревается до текучего состояния и от него отделяются механические примеси и вода. Затем вязкий нефтешлам через кассетные фильтры направляется в емкость предварительного смешения (2). В емкость смешения подается исходное сырье (дорожный битум и модификаторы) вместе с нефтешламом, где смесь предварительно смешивается при температуре 160°С до гомогенного состояния. После этого смесь насосом (3) перекачивается в коллоидную мельницу. В коллоидной мельнице (4) происходит основной процесс модификации битумов при атмосферном давлении и температуре 180°С. Модифицированный битум из коллоидной мельницы направляются в охладительную колонну (5) для полного очищения от газов с помощью вакуумной дегазации. В результате модификации битумов нефтешламами в охладительной колонне получаются газы от легких фракций нефтешламов. Образовавшие газы поступают в блок очистки газа (6) для очистки от сернистых и других вредных газов, и получения топливного газа. После полного удаления газов из охладительной колонны готовое битумное вяжущие откачивается насосом перекачки (7) в емкости для битумов.

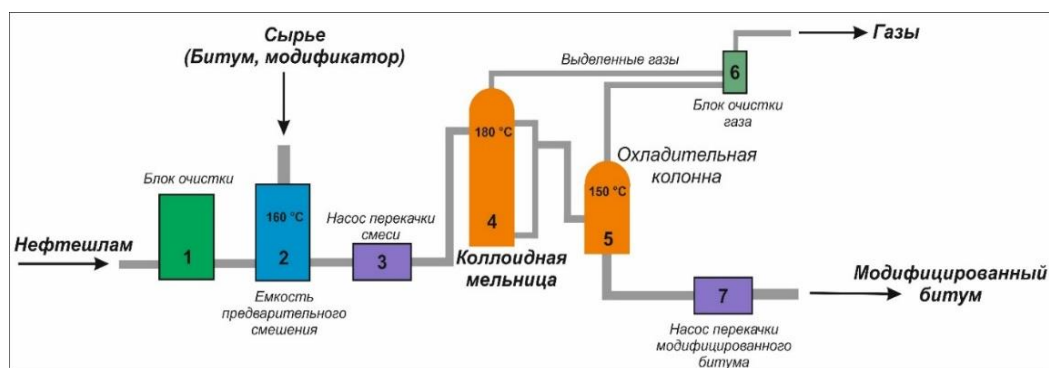


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема модификации битумов нефтешламами

Представленная принципиальная технологическая схема модификации битумов нефтешламами позволяет эффективно утилизировать и перерабатывать нефтешламы с получением вторичного битума для дорожного строительства.

### **Заключение**

Результаты исследований нефтешламов месторождения Каражанбас можно сделать вывод, что они содержат достаточное количество металлов и практически наполовину состоят из механической примеси и воды. А также по результатам проведенных физико-химических исследований установлено, что содержание нефтепродуктов в отходах очень низкое, поэтому отходы непригодны для их переработки с извлечением нефти. Данные отложения представляют интерес в качестве вторичного сырья для применения в дорожном строительстве после извлечения ценных металлов.

По результатам экспериментальных работ нефтешламы месторождений Узень и Жетыбай можно применять в качестве наполнителя с модификатором для получения полимер-битумных вяжущих. В результате достигнуто улучшение эксплуатационных свойств получаемого продукта. Целью применения нефтешлама в модификации битумов является удешевление рецептуры битумного вяжущего, а также утилизация промышленных отходов для повышения экологической безопасности окружающей среды.

### **Список литературы**

1. Боковикова Т.Н. Использование нефтешламов при строительстве дорог / Т.Н. Боковикова, Е.Р. Шпербер. // Экология и промышленность России. – 2010. – № 4. – С. 34-35.
2. Application of flocculant and coagulant in treatment of oily pollutants: a mini review / Y. Yang et al // Petroleum Science and Technology. – 2024. – P. 1-17.
3. Al-Doury M.M.I. Treatment of Oily Sludge Using Solvent Extraction / M.M.I. Al-Doury // Petroleum Science and Technology. – 2019. – Vol. 37(2). – P. 190-196.
4. Ишекенова Б. Как в Казахстане разбираются с нефтяными отходами [Электрон. ресурс]. – 2020. – URL: <https://ism.kz/kak-v-kazahstane-razbirayutsya-s-neftyanyimi-othodami>.
5. Темиргалиев С. Превращая отходы в доходы [Электрон. ресурс]. – 2015. – URL: <https://kazpravda.kz/n/prevrashchaya-othody-v-dohody-32/>.
6. Wastes from the petroleum industries as sustainable resource materials in construction sectors: Opportunities, limitations, and directions / A. Nilofar et al // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 284. – P. 125459.
7. Utilization of oil sludge as rejuvenator in hot-mix-asphalt containing reclaimed asphalt concrete / M.A. Dalhat et al // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 338. – P. 127483.
8. Guangji H. Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: A review / H. Guangji, L. Jianbing, Z. Guangming // Journal of Hazardous Materials. – 2013. – Vol. 261. – P. 470-490.
9. da Silva L.J. A review of the technological solutions for the treatment of oily sludges from petroleum refineries / L.J. da Silva, F.C. Alves, F.P. de França. // Waste Management Research. – 2012. – Vol. 30. – P. 1016-1030.
10. Al Zubaidy I.A. Production of sustainable pavement with oil sludge / I.A. Al Zubaidy, A.K. Al-Tamimi // Road Materials and Pavement Design. – 2014. – Vol. 15(3). – P. 691-700.
11. Nurul N.M.P. A Review on the Treatment of Petroleum Sludge and Use as Construction Materials / N.M.P. Nurul, S.A.S. Mohamad // Civil and Sustainable Urban Engineering. – 2022. – Vol. 2(1). – P. 12-20.
12. Karami E. Upgrading Iranian petroleum sludge using polymers / E. Karami, T.J. Behbahani // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2018. – Vol. 8. – P. 1319-1324.

### **References**

1. Bokovikova T.N. Ispol'zovanie nefteshlamov pri stroitel'stve dorog / T.N. Bokovikova, E.R. Shperber. // Ehkologiya i promyshlennost' Rossii. – 2010. – № 4. – S. 34-35. (In Russian).
2. Application of flocculant and coagulant in treatment of oily pollutants: a mini review / Y. Yang et al // Petroleum Science and Technology. – 2024. – P. 1-17. (In English).
3. Al-Doury M.M.I. Treatment of Oily Sludge Using Solvent Extraction / M.M.I. Al-Doury // Petroleum Science and Technology. – 2019. – Vol. 37(2). – P. 190-196. (In English).

4. Ishekenova B. Kak v Kazakhstane razbirayutsya s neftyanyimi otkhodami [Ehlektron. resurs]. – 2020. – URL: <https://ism.kz/kak-v-kazahstane-razbirayutsya-s-neftyanyimi-othodami>. (In Russian).
5. Temirgaliev S. Prevrashchaya otkhody v dokhody [Ehlektron. resurs]. – 2015. – URL: <https://kazpravda.kz/n/prevrashchaya-othody-v-dohody-32/>. (In Russian).
6. Wastes from the petroleum industries as sustainable resource materials in construction sectors: Opportunities, limitations, and directions / A. Nilofar et al // Journal of Cleaner Production. – 2021. – Vol. 284. – R. 125459. (In English).
7. Utilization of oil sludge as rejuvenator in hot-mix-asphalt containing reclaimed asphalt concrete / M.A. Dalhat et al // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 338. – R. 127483. (In English).
8. Guangji H. Recent development in the treatment of oily sludge from petroleum industry: A review / H. Guangji, L. Jianbing, Z. Guangming // Journal of Hazardous Materials. – 2013. – Vol. 261. – P. 470-490. (In English).
9. da Silva L.J. A review of the technological solutions for the treatment of oily sludges from petroleum refineries / L.J. da Silva, F.C. Alves, F.P. de França. // Waste Management Research. – 2012. – Vol. 30. – P. 1016-1030. (In English).
10. Al Zubaidy I.A. Production of sustainable pavement with oil sludge / I.A. Al Zubaidy, A.K. Al-Tamimi // Road Materials and Pavement Design. – 2014. – Vol. 15(3). – P. 691-700. (In English).
11. Nurul N.M.P. A Review on the Treatment of Petroleum Sludge and Use as Construction Materials / N.M.P. Nurul, S.A.S. Mohamad // Civil and Sustainable Urban Engineering. – 2022. – Vol. 2(1). – P. 12-20. (In English).
12. Karami E. Upgrading Iranian petroleum sludge using polymers / E. Karami, T.J. Behbahani // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2018. – Vol. 8. – P. 1319-1324. (In English).

### **Благодарность**

*Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК по проекту грантового финансирования AP22784648 «Разработка эффективной технологий переработки нефтяных шламов для получения ценных продуктов».*

**Е.И. Иманбаев<sup>1\*</sup>, Е. Тілеуберді<sup>1</sup>, Д. Мұқталы<sup>1</sup>, А.Н. Боранбаева<sup>2</sup>, Б. Серкебаева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Жану проблемалары институты,

050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Бөгенбай батыр к-сі, 172

<sup>2</sup>Есенов университеті,

130000, Қазақстан Республикасы, Ақтау қаласы, Н 32 шағын ауданы

<sup>3</sup>«КМГ Инжиниринг» ЖШС филиалы «ҚазНИПИмұнайгаз»,

R00P0D6, Қазақстан Республикасы, Маңғыстау облысы, Ақтау қаласы, 35 ш / а, 6/1 учаске

\*e-mail: [erzhan.imanbayev@mail.ru](mailto:erzhan.imanbayev@mail.ru)

### **МҰНАЙ ШЛАМДАРЫМЕН БИТУМДЫ МОДИФИКАЦИЯЛАУ ПРОЦЕСТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

*Қазіргі уақытта дүние жүзінің ғалымдары мұнай шламын әртүрлі мақсаттарда екінші реттік шикізат ретінде пайдалану мүмкіндігін қарастыруда. Елімізде кейбір мұнай қалдықтарын өңдеудің қазіргі әдістері экономикалық тиімді емес екені белгілі. Битумды модификациялауда мұнай шламын қайталама шикізат ретінде пайдалану оларды қолданудың негізгі бағыттарының бірі болып көрінеді және үлкен практикалық маңызға ие. Зерттеу жұмысында Маңғыстау облысындағы мұнай шламдарының құрамы мен қасиеттері және оларды модификацияланған битум алу үшін тиімді пайдалануға болатыны зерттелді. Зертханалық зерттеу нәтижесінде мұнай шламын арнайы модификаторлармен бірге битумды модификациялау кезінде толтырғыш ретінде пайдалануға болатыны анықталды. Зерттеу нәтижесінде алынған үлгілер алынған қоспаның сапасының жақсарғанын көрсетті. Бұл тәсіл мұнай қалдықтарын кәдеге жаратуға байланысты экологиялық мәселелерді шешеді. Зерттеу нәтижелері таңдалған мұнай шламы өзінің физикалық және химиялық сипаттамаларына байланысты жол құрылыс материалдарын түрлендіруге жарамды екенін растайды. Битумды мұнай шламымен модификациялаудың ұсынылған негізгі технологиялық схемасы полимер-битум байланыстырғышты өндіру арқылы мұнай қалдықтарын қайта өңдеу мәселесін жоюға мүмкіндік береді және мұнай шламының құрамындағы ресурстық потенциалды технологиялық процеске қайтаруға мүмкіндік береді.*

**Түйін сөздер:** мұнай шламы, мұнай битумдары, модификация, физикалық-химиялық сипаттамалары, модификаторлар

Y.I. Imanbayev<sup>1\*</sup>, Y. Tileuberdi<sup>1</sup>, D. Muktaly<sup>1</sup>, A.N. Boranbayeva<sup>2</sup>, B. Serkebaeva

<sup>1</sup>Institute of Combustion Problems,  
050012, Republic of Kazakhstan, Almaty, 172 Bogenbai Batyr str.

<sup>2</sup>Yessenov University,  
130000, Aktau, Republic of Kazakhstan, micr-n 32

<sup>3</sup>KazNIPImunaigas Branch of KMG Engineering,  
R00P0D6, Republic of Kazakhstan, Mangystau region, Aktau, 35 mkr, plot 6/1  
\*e-mail: erzhan.imanbayev@mail.ru

## RESEARCH PROCESSES OF MODIFICATION BITUMEN WITH OILY SLUDGE

*Currently, scientists around the world are considering the possibility of using oily sludge as a secondary raw material for various purposes. It is known that the current methods in the country for processing some oil waste are not economically efficient. The use of oily sludge as a secondary raw material seems to be one of the main directions in their use in the modification of bitumen and is of great practical importance. The research work studied the composition and properties of oily sludge from the Mangystau region and how they could potentially be used to produce modified bitumen. From a laboratory study, it was established that oily sludge can be used as a filler when modifying bitumen together with special modifiers. The obtained samples showed an improvement in the quality of the obtained mixture. This approach solves environmental problems related to oil waste disposal. The results of the study confirm that the selected oily sludges, due to its physical and chemical characteristics, is suitable for use in modifying road building materials. The presented basic technological scheme for modifying bitumen with oily sludge makes it possible to eliminate the problem of recycling oil waste with the production of a polymer-bitumen binder and allows the resource potential contained in oily sludge to be returned to the technological process.*

**Key words:** oily sludge, bitumen, modification, physical and chemical characteristics, modifiers

### Сведения об авторах

**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>.

**Динара Мукталы** – PhD, старший научный сотрудник Института проблем горения; e-mail: dinara.muktaly@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1139-5488>.

**Ербол Тилеуберди** – PhD, Ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем горения; e-mail: er.tileuberdi@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9733-5015>.

**Асия Нурлыбаевна Боранбаева** – PhD, старший преподаватель кафедры «Естественные науки» университета Есенова; e-mail: assiya.boranbayeva@yu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0592-3782>.

**Базаргул Серкебаевна Серкебаева** – заведующая лабораторией физико-химических исследований нефти Филиала «КазНИПИмұнайгаз» КМГ Инжиниринг; e-mail: Serkebayeva\_B@kaznipi.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0288-7210>.

### Авторлар туралы мәлімет

**Ержан Иманбайұлы Иманбаев\*** – PhD, қауымдастырылған профессор, Жану проблемалары институты жетекші ғылыми қызметкер; e-mail: erzhan.imanbayev@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8273-0020>.

**Динара Мұқталы** – PhD, Жану проблемалары институты аға ғылыми қызметкер; e-mail: dinara.muktaly@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1139-5488>.

**Ербол Тилеуберді** – PhD, қауымдастырылған профессор, Жану проблемалары институты жетекші ғылыми қызметкер; e-mail: er.tileuberdi@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9733-5015>.

**Асия Нұрлыбайқызы Боранбаева** – PhD, Есенов университеті «Жаратылыстану ғылымдары» кафедрасының аға оқытушысы; e-mail: assiya.boranbayeva@yu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0592-3782>.

**Базаргул Серкебайқызы Серкебаева** – «КМГ Инжиниринг» ЖШС филиалы «КазНИПИмұнайгаз» мұнайды физика-химиялық зерттеу зертханасы меңгерушісі; e-mail: Serkebayeva\_B@kaznipi.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0288-7210>.

### Information about authors

**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>.

**Dinara Muktaly** – PhD, Senior Researcher at Institute of Combustion Problems; e-mail: dinara.muktaly@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1139-5488>.

**Yerbol Tileuberdi** – PhD, Associate Professor, Leading Researcher at Institute of Combustion Problems; e-mail: er.tileuberdi@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9733-5015>.

**Asiya Nurlybaevna Boranbayeva** – PhD, senior lecturer at the Department of Natural Sciences of Yessenov University; e-mail: assiya.boranbayeva@yu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0592-3782>.

**Bazargul Serkebaevna Serkebaeva** – Head of the Laboratory of Physical and Chemical Research of Petroleum of the KazNIPImunaigas Branch of KMG Engineering; e-mail: Serkebayeva\_B@kaznipi.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0288-7210>.

Поступила в редакцию 26.06.2024

Поступила после доработки 21.08.2024

Принята к публикации 22.08.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-44](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-44)



МРНТИ: 67.15.49

**И. Байдуллаев<sup>1</sup>, Г.С. Айткалиева<sup>1</sup>, М.А. Елубай<sup>2\*</sup>, Н.С. Демеубаева<sup>1</sup>, А.А. Амитова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Сатпаев университет,

050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаев 22

<sup>2</sup>Торайгыров университет,

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул.Ломова 64

\*e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz

## РЕГЕНЕРИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ АСФАЛЬТОВЫХ ПОКРЫТИЙ ОМОЛАЖИВАЮЩИМИ СРЕДСТВАМИ

**Аннотация:** Переработка регенерированного асфальтового покрытия выполняет важную функцию для достижения устойчивой и экологически безопасной дорожно-строительной отрасли. На основе регенерированного асфальтового покрытия (РАП) можно производить новый асфальт с небольшим количеством первичного сырья. Это позволит сократить количество требуемой энергии, необходимой для добычи и переработки первичных материалов для асфальтовых покрытий, вместе с тем и количество отходов, образующихся при реконструкции дорог. Несмотря на эти преимущества, дорожные агентства неохотно используют высокие доли материалов РАП в новом производстве асфальта, поскольку присутствие большого объема окисленного битума из РАП в новых смесях делает их менее обрабатываемыми и менее уплотняемыми, чем смеси только с первичным битумом. Также следует помнить о высокой жесткости смесей РАП, которая затруднит их использование. Для преодоления этой проблемы можно использовать различные методы, одним из наиболее эффективных является добавление омолаживающих средств. В данной статье описываются исследования в области производства асфальтобетонной смеси из переработанного материала вторичного асфальтового покрытия (РАП). Данная работа направлена на изучение эффективности различных реювенаторов для восстановления основных эксплуатационных характеристик асфальтовых покрытий. Рассмотрены наиболее эффективные реювенаторы и их классификация. Представлен предположительный механизм омоложения асфальтовых покрытий при введении реювенаторов. Описаны методы введения различных реювенаторов в РАП.

**Ключевые слова:** Реювенатор, регенерированное асфальтовое покрытие, дорожное строительство, отходы, регенерация.

### Введение

Проблема использования вторичного сырья в дорожном строительстве является одной из значимых проблем современного дорожного строительства. По мере старения автомобильных дорог ежегодно образуется огромное количество отходов асфальтобетонных материалов. В этой связи, все более популярным и актуальным становится использование регенерированного асфальтового покрытия (РАП), что обусловлено эффектом в сокращении отходов, экономических затрат на дорогостоящий природный ресурс, выбросов углекислого газа, и достижением устойчивого развития экономики, общества и окружающей среды.

Однако связующее РАП является устаревшим и имеет ряд недостатков, в том числе плохую удобоукладываемость, низкую утомляемость получаемых смесей и низкое

сопротивление разрушению. Данные проблемы можно решить с помощью омолаживающих средств – реювенаторов.

Целью данной работы является сравнительный анализ наиболее эффективных омолаживающих средств (реювенаторов) для повышения устойчивости РАП при производстве новых асфальтовых смесей, механизм их действия, а также методы их введения в РАП.

### **Механизм омоложения регенерированных асфальтовых покрытий**

Для исследования возможности применения материалов в качестве эффективных реювенаторов необходимо знание механизма их действия.

Так, в работе [1] ученые считают, что эффективный реювенатор должен балансировать фракции асфальтенов и мальтенов путем введения легких компонентов (ароматических, смолистых), восстанавливая коллоидную структуру.

Одними из первых процесс омоложения наблюдали ученые [2] и описали данный процесс диффузии термином «модификатор». В работе [3] диффузию омолаживателя делят на следующие этапы (рис. 1):

1) внешний слой связующего РАП контактирует с омолаживающим средством низкой вязкости;

2) внешний слой смягчается и наблюдается его подвижность, что позволяет реювенатору проникать во внутренний слой;

3) происходит диффузия реювенатора, что способствует размягчению внутреннего состаренного асфальтового вяжущего и уменьшению количества омолаживающего средства вокруг внешнего слоя. Данный показатель приводит к увеличению вязкости РАП;

4) завершение диффузии, которую можно рассмотреть, как равновесие, обусловленное постоянной вязкостью всей пленки РАП.

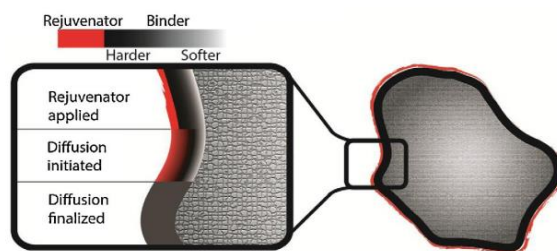


Рисунок 1 – Процесс диффундирования омолаживающего средства в состаренную связующую пленку [3]

Омоложение РАП не обращает вспять процесс окислительного старения, вторичный РАП характеризуется иным химическим составом, однако может работать наравне или в некоторых случаях даже лучше, чем первичное асфальтовое вяжущее. Важнейшим этапом механизма омоложения является диффузия, которой требуется достаточно времени для достижения равновесного состояния, при котором состаренный вяжущий полностью активирован и мобилизован, и готов к смешиванию с омолаживающими и первичными асфальтовыми вяжущими.

### **Реювенаторы и их классификация**

По мнению авторов работы [4] хороший омолаживающий агент должен удовлетворять как краткосрочным, так и долгосрочным требованиям, таким как: быстрое диффундирование в связующее РАП, способствуя его активации и улучшая обрабатываемость РАП; восстановление реологических свойств РАП с целью предотвращения процессов усталости и растрескивания при пониженных температурах; поддержание эффективности омоложения в течение длительного периода времени.

Омолаживающие средства обычно бывают на нефтяной или органической основе, а также могут иметь различную природу, что подтверждается их полярностью, молекулярной структурой и функциями [5].

Традиционными омолаживающими средствами являются базовые масла нефтепереработки, такие как парафиновые масла, ароматические экстракты и нафтеновые масла, которые изначально использовались для ухода за дорожным покрытием и были разработаны как продукты на основе нефти для рециклинга асфальта [6-9].

Ряд работ посвящен применению в качестве реювенатора отработанного моторного масла (ОММ) [10]. В [11] отмечается увеличение содержания ароматических веществ и пластичности состаренного асфальта после введения добавок ОММ, однако упоминается необходимость расчета оптимальной концентрации ОММ, так как его избыток приводил к ухудшению характеристик дорожных покрытий.

Li и др. [12] также положительно оценили влияние различных количеств добавок ОММ на традиционные физические характеристики и восстановлению легких элементов в состаренном асфальте. Ученые отметили, что добавление отработанного масла не приводит к дальнейшим химическим взаимодействиям, оптимальной дозой ОММ является 1-4%, повышение которой может привести к нежелательному снижению вязкости асфальта.

Ученые [13] исследовали эффективность ароматических экстрактов и таллового масла для регенерации старого асфальта и отметили снижение жесткости асфальта и восстановление первоначальных качеств, однако эффективность омолаживающих средств со временем снизилась.

В последнее время для борьбы с нефтяными вяжущими из-за их высокой стоимости и воздействия на окружающую среду используются различные другие продукты, такие как разработанные вяжущие и вяжущие на органической основе, для включения, состаренного вяжущего в РАП с двойными преимуществами – увеличением количества РАП в асфальтобетонной смеси и превосходными характеристиками асфальта горячего смешивания [14].

Отработанное растительное масло (ОРМ) представляет собой экологически чистый, разлагаемый и летучий материал, состоящий из производного масла жирных кислот [15]. В работе [16] исследовали в качестве реювенатора бионефть, полученную путем полимеризации ОРМ. Авторы отмечают повышение устойчивости к низкотемпературному растрескиванию, но значительно снижается устойчивость к колееобразованию [16, 17]. Различия в химической конфигурации битума на основе бионефти и топливного битума могут приводить к различным физическим и химическим характеристикам [18].

Был проведен значительный объем исследований для изучения потенциала различных продуктов в качестве омолаживающих средств, определения оптимальных доз этих продуктов и оценки эффективности омоложения с помощью различных испытаний вяжущих и смесей, химического анализа и методов определения микрохарактеристик [4].

Национальный центр асфальтовых технологий и Министерство транспорта штата Небраска в своем отчете приводят классификацию реювенаторов [19], которая представлена в таблице 1. Согласно данной таблицы 1 омолаживающие средства разделены на пять категорий в соответствии с их компонентами, применением и ресурсами.

Таблица 1 – Классификация реювенаторов

Категория	Представленные продукты	Описание
Парафиновые масла	Отработанные моторные масла (WEO)	Отработанные моторные масла (WEO)
Экстракты ароматических веществ	Hydrolene® Reclamite® Cyclogen L®	Продукты переработки сырой нефти с полярными ароматическими компонентами
Нафтенновые масла	SonneWarmix RJ® Ergon HyPrene®	Углеводороды для модификации асфальта
Триглицериды и жирные кислоты	Отработанное растительное масло Отработанный растительный жир Коричневый жир	Получают в основном из растительных масел
Целевые продукты на биооснове	Sylvaroad™ RP1000 Hydrogreen® Cargill Anova®	Получают из растительных масел или таллового масла, являющегося побочным продуктом бумажной промышленности

Бельгийский центр дорожных исследований (БЦДИ) классифицировал реювенаторы по шести группам (табл. 2), основанных на природе и происхождении примеров коммерчески доступных продуктов [20].

Таблица 2– Разделение омолаживающих средств на шесть групп

Происхождение	Первоначально изготовленный или полученный	Переработка отходов
Из нефтехимической промышленности/нефти	ароматические экстракты и нефтеновые масла, полученные из сырой нефти	переработка машинных масел
Растительный/биологический	растительные масла из агропромышленного комплекса инженерные масла на биооснове (например, производные таллового масла))	переработка пищевых масел (масел и жиров растительного или животного происхождения)
Остаточная категория	различные специально разработанные добавки (например, биомасса, биогенные смеси, флюсовое масло)	

Известны методы классификации омолаживающих средств [21] по трем категориям в зависимости от механизма их омолаживания, это - смягчители, репленизаторы и эмульгаторы.

### Методы введения омолаживающих средств

По литературным данным, существует два основных метода включения омолаживателя:

- 1) смешивание реювенатора с первичным асфальтовым вяжущим и получение модифицированного вяжущего,
- 2) добавление смеси омолаживающего средства и РАП к другим сырьевым материалам (например, первичным асфальтовым вяжущим и заполнителями).

Первый метод широко использовался для биопродуктов для получения биомодифицированного вяжущего, выполняющего функцию «более мягкого вяжущего» [22, 23].

Ученые в работе [24] рекомендовали распылять омолаживающее средство на предварительно нагретое РАП, а затем смешивать с заполнителями и первичным асфальтовым вяжущим, что, как ожидалось, должно было привести к лучшему омолаживающему эффекту за счет обеспечения прямого контакта между омолаживающим средством и РАП, что впоследствии увеличивало диффузию. Однако добавление омолаживающих средств непосредственно в РАП может не показать значительных улучшений, если омолаживающие средства добавляются в РАП только при комнатной температуре и непосредственно перед смешиванием, поскольку диффузия и активация связующего РАП вряд ли произойдет в течение ограниченного времени и при температуре окружающей среды [25].

Ученые [26] сравнили три метода включения омолаживающей добавки: распыление на РАП с периодом отдыха 2 часа, распыление на РАП с периодом отдыха 24 часа и предварительное смешивание с первичным вяжущим, но ни один из этих методов не показал статистической разницы между собой или значительного влияния на результаты испытаний смеси и вяжущего. Кроме того, увеличение времени и температуры смешивания повышает скорость диффузии омолаживающих веществ в старое асфальтовое вяжущее, что, в свою очередь, делает вяжущее из РАП более текучим для смешивания с первичным асфальтовым вяжущим и покрытия заполнителей [27].

### Заключение

Использование РАП дает многочисленные преимущества, включая снижение энергопотребления, сохранение природных ресурсов и снижение образования отходов. Введение РАП в строительство дорожных покрытий соответствует принципам устойчивого развития и поддерживает концепцию экономики замкнутого цикла. Несмотря на многочисленные исследования, применение реювенаторов для восстановления свойств РАП должно базироваться на местном сырье, что безусловно будет технически целесообразнее и экономически рентабельнее. Поэтому изучение потенциала отечественных отходов нефтехимической отрасли в качестве реювенаторов является интересной и важной темой для дальнейших исследований в области дорожного строительства.



## Список литературы

1. Tabatabaee H.A. Analytical investigation of the impact of a novel bio-based recycling agent on the colloidal stability of aged bitumen, *Road Mater* / H.A. Tabatabaee, T.L. Kurth // *Pavement Des.* – 2017. – Vol.18. – P. 131-140. DOI: <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1304257>.
2. Samuel H. Carpenter J.R.W. Modifier influence in the characterization of hot-mix recycled material / J.R.W. Samuel H. Carpenter // *Transp. Res. Rec.* – 1980. – P. 5-22.
3. Zaumanis M. 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis / M. Zaumanis, R.B. Mallick, R. Frank // *Resour. Conserv. Recycl.* – 2014. – Vol. 92. – P. 230-245. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2014.07.007>.
4. Hui Liao. Optimizing the Performance of Asphalt Mixes with High Reclaimed Asphalt Pavement Content Using Rejuvenators. – 2022. – 250 p.
5. Effects of laboratory aging on properties of biorejuvenated asphalt binders / A. Borghi et al // *J. Mater. Civ. Eng.* – 2017. – Vol. 29. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001995](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001995).
6. Zaumanis M. Evaluation of rejuvenator's effectiveness with conventional mix testing for 100% reclaimed Asphalt pavement mixtures / M. Zaumanis, R. Mallick, R. Frank // *Transp. Res. Rec.* – 2013. – P. 17-25. DOI: <https://doi.org/10.3141/2370-03>.
7. Influence of six rejuvenators on the performance properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) binder and 100% recycled asphalt mixtures / M. Zaumanis et al // *Constr. Build. Mater.* – 2014. – Vol. 71. – P. 538-550. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.073>.
8. Mogawer W.S. Ageing and rejuvenators: evaluating their impact on high RAP mixtures fatigue cracking characteristics using advanced mechanistic models and testing methods / W.S. Mogawer, A. Austerman, R. Roque // *Road Mater. Pavement Des.* – 2015. – Vol.16. – P. 1-28. DOI: <https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1076996>.
9. Baqersad M. Rheological and chemical characteristics of asphalt binders recycled using different recycling agents / M. Baqersad, H. Ali // *Constr. Build. Mater.* – 2019. – Vol. 228. – P. 116-738. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116738>.
10. A review on the usage of waste engine oil with aged asphalt as a rejuvenating agent / Z.H. Al-Saffar et al // *Mater. Today Proc.* – 2021. – № 42. – P. 2374-2380.
11. Effect of waste engine oil on asphalt reclaimed properties / F. Wang et al // *AIP Conf. Proc.* – 2018. – № 1973.
12. Study on waste engine oil and waste cooking oil on performance improvement of aged asphalt and application in reclaimed asphalt mixture / H. Li et al // *Constr. Build. Mater.* – 2021. – № 276. – P. 122-138.
13. Characterising the long-term rejuvenating effectiveness of recycling agents on asphalt blends and mixtures with high RAP and RAS contents / F. Yin et al // *Epps Martin, A. Road Mater. Pavement Des.* – 2017. – № 18. – P. 273-292.
14. Mazzoni G. Influence of rejuvenators on bitumen ageing in hot recycled asphalt mixtures / G. Mazzoni, E. Bocci, F. Canestrari // *J. Traffic Transp. Eng.* – 2018. – Vol. 5. – P. 157-168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.01.001>.
15. Physical-chemical properties of aged asphalt rejuvenated by bio-oil derived from biodiesel residue / G. Minghui et al // *Constr. Build. Mater.* – 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.025>.
16. Properties of asphalt binder modified by bio-oil derived from waste cooking oil / S. Zhaojie et al // *Constr. Build. Mater.* – 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.173>.
17. Differential effects of ultraviolet radiation and oxidative aging on bio-modified binders / S. Hosseinneshad et al // *Fuel* 251. – 2019. – P. 45-56. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000713](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000713).
18. High temperature properties of rejuvenating recovered binder with rejuvenator, waste cooking and cotton seed oils / M. Chen et al // *Construction and Building Materials.* – 2014. – № 59. – C. 10-16.
19. Sias J.E. Use of Recycling Agents in Asphalt Concrete Mixtures, 177 Washington / J.E. Sias, E.V. Dave, R. Zhang // DC: The National Academies Press. – 2022. DOI: <https://doi.org/10.17226/26601>.
20. Categorisation and analysis of rejuvenators for asphalt recycling / De Bock L. et al // *Dossier* 21. – 2020.

21. Evaluation and classification of recycling agents for asphalt binders / A. Bajaj et al // Constr. Build. Mater. – 2020. – Vol. 260. – P. 119-864. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119864>.
22. Performance characteristics of high reclaimed asphalt pavement containing bio-modifier / W.S. Mogawer et al // Road Mater. Pavement Des. – 2016. – Vol. 17. – P. 753-767. DOI: <https://doi.org/10.1080/14680629.2015.1096820>.
23. Elkashef M. Investigation of fatigue and thermal cracking behavior 178 of rejuvenated reclaimed asphalt pavement binders and mixtures / M. Elkashef, R.C. Williams, E. Cochran // Int. J. Fatigue. – 2018. – Vol. 108. – P. 90-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2017.11.013>.
24. Application of a high percentage of reclaimed asphalt pavement in an asphalt mixture: blending process and performance investigation / B. Yu et al // Road Mater. Pavement Des. – 2017. – Vol. 18. – P. 753-765. DOI: <https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1182941>.
25. Performance of asphalt mixtures with high recycled materials content and recycling agents / F. Kaseer et al // Int. J. Pavement Eng. – 2018. – P. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1511990>.
26. Rathore M. Impact of laboratory mixing procedure on the properties of reclaimed asphalt pavement mixtures / M. Rathore, M. Zaumanis // Constr. Build. Mater. – 2020. – Vol. 264. – P. 120-709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120709>.
27. Kaseer F. Use of recycling agents in asphalt mixtures with high-recycled materials contents in the United States: A literature review / F. Kaseer, A. Epps, E. Arámbula-mercado // Constr. Build. Mater. – 2019. – Vol. 211. – P. 974-987. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.286>.

### **Информация о финансировании**

*Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP22786142 Использование нефтесодержащих отходов в качестве потенциального реювенатора в регенерированном асфальтовом покрытии)».*

**И. Байдуллаев<sup>1</sup>, Г.С. Айткалиева<sup>1</sup>, М.А. Елубай<sup>2\*</sup>, Н.С. Демеубаева<sup>1</sup>, А.А. Амитова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Сәтпаев университеті,

050013, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Сатпаев к. 22

<sup>2</sup>Торайғыров университеті,

140008, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломова к. 64

\*e-mail: [yelubay.m@tou.edu.kz](mailto:yelubay.m@tou.edu.kz)

### **ЕКІНШІЛІК АСФАЛЬТТЫ ЖАБЫНДЫЛАРЫН РЕГЕНЕРАЦИЯЛАУ ҮШІН ЖАСАРТҚЫШ ҚОСПАЛАР**

*Қолданылған асфальт жабындысын қайта өңдеу тұрақты және экологиялық таза жол құрылысы индустриясына қол жеткізуде маңызды функцияны атқарады. Регенерацияланған асфальтбетонды жабынды (РАЖ) қайта пайдалану арқылы тың шикізаттың аз мөлшерімен жаңа асфальт шығаруға болады. Бұл асфальтбетонды жабындар үшін тың материалдарды өндіру және өңдеу үшін қажетті энергия көлемін, сондай-ақ жолды қайта құру кезінде пайда болатын қалдықтардың мөлшерін азайтады. Осы артықшылықтарға қарамастан, автомобиль жолдары мекемелері жаңа асфальт өндірісінде РАЖ материалдарының жоғары үлесін пайдаланғысы келмейді, өйткені жаңа қоспалардағы тотыққан РАЖ битумының үлкен көлемінің болуы оларды тек таза битуммен қоспаларға қарағанда жұмыс қабілеттілігін және нығыздағыштығын азайтады. Сондай-ақ, РАЖ қоспаларының жоғары қаттылығы оларды пайдалануды қиындатады. Бұл мәселені шешу үшін түрлі әдістерді қолдануға болады, ең тиімдісі - жасартқыш агенттерді қосу. Бұл мақалада қайта өңделген асфальт жабынының (РАЖ) материалынан асфальт қоспаларын өндіру бойынша зерттеулер сипатталған. Бұл жұмыс асфальт жабындарының негізгі өнімділік сипаттамаларын қалпына келтіру үшін әртүрлі жасартқыштардың тиімділігін зерттеуге бағытталған. Ең тиімді жасартқыштар және олардың жіктелуі қарастырылады. Жасартқыштарды енгізу арқылы асфальтбетонды жасартудың болжамалы механизмі ұсынылған. РАЖ-ға әртүрлі жасартқыштарды енгізу әдістері сипатталған.*

**Түйін сөздер:** *Жасартқыш, регенерацияланған асфальт жабын, жол құрылысы, қалдықтар, регенерация.*

I. Baidullayev<sup>1</sup>, G. Aitkaliyeva<sup>1</sup>, M. Yelubay<sup>2\*</sup>, N. Demeubayeva<sup>1</sup>, A. Amitova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University,

050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, Satpayev street 22

<sup>2</sup>Toraighyrov University,

140008, Republic of Kazakhstan, Pavlodar city, Lomova street, 64

\*e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz

## REGENERATION OF SECONDARY ASPHALT PAVEMENTS WITH REJUVENATING AGENTS

*Recycling reclaimed asphalt pavement fulfills an important function in achieving a sustainable and environmentally friendly road construction industry. Using reclaimed asphalt pavement (RAP) it is possible to produce new asphalt with a small amount of virgin raw materials. This will reduce the amount of energy required to extract and process virgin asphalt pavement materials, along with the amount of waste generated during road reconstruction. Despite these advantages, road agencies have been reluctant to use high proportions of RAP materials in new asphalt production because the presence of large amounts of oxidized bitumen from RAP in new mixtures makes them less workable and less compactable than mixtures with virgin bitumen alone. One should also be aware of the high stiffness of RAP mixtures, which will make them difficult to use. Various methods can be used to overcome this problem, one of the most effective is the addition of rejuvenating agents. This article describes research into the production of asphalt mixtures from recycled asphalt pavement (RAP) material. This work aims to study the effectiveness of various rejuvenators for restoring the basic performance characteristics of asphalt pavements. The most effective rejuvenators and their classification are reviewed. The hypothesized mechanism of rejuvenation of asphalt pavements by the introduction of rejuvenators is presented. The methods of introducing various rejuvenators into RAP are described..*

**Key words:** Rejuvenator, reclaimed asphalt pavement, road construction, waste, regeneration.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Ильяс Байдуллаев** – Кіші ғылыми қызметкер, Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті; e-mail: ilyas.baidullayev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1592-6467>.

**Гульзат Айтқалиева** – PhD, қауымдастырылған профессор, Геология, мұнай – газ ісі институты, Сәтбаев университеті; e-mail: g.aitkaliyeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>.

**Мәдениет Елубай\*** – химия ғылымдарының кандидаты, Жаратылыстану факультетінің деканы, профессор, Торайғыров университеті; e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>.

**Нурикамал Демеубаева** – техника ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті; e-mail: n.demeubayeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7944-6341>.

**Айгуль Амито́ва** – PhD, «Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасының меңгерушісі, Геология және мұнай-газ ісі институты, Сәтбаев университеті; e-mail: a.amitova@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7721-6473>.

### Сведения об авторах

**Ильяс Байдуллаев** – Младший научный сотрудник, Институт геологии и нефтегазового дела, Сатпаев университет; e-mail: ilyas.baidullayev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1592-6467>.

**Гульзат Айтқалиева** – PhD, ассоциированный профессор, Институт геологии и нефтегазового дела, Сатпаев университет, Алматы; e-mail: g.aitkaliyeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>.

**Мәдениет Елубай\*** – кандидат химических наук, Декан факультета естественных наук, профессор, Торайғыров Университет; e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>.

**Нурикамал Демеубаева** – магистр технических наук, научный сотрудник, Институт геологии и нефтегазового дела, Сатпаев университет; e-mail: n.demeubayeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7944-6341>.

**Айгуль Амито́ва** – PhD, заведующий кафедрой Химической и биохимической инженерии, Институт геологии и нефтегазового дела, Сатпаев университет; e-mail: a.amitova@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7721-6473>.

### Information about the authors

**Ilyas Baidullayev** – Junior researcher, Institute of geology, oil and gas, Satbayev University; e-mail: ilyas.baidullayev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1592>.

**Gulzat Aitkaliyeva** – PhD (Petrochemistry), Associate Professor, Institute of geology, oil and gas, Satbayev University; e-mail: g.aitkaliyeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9872-6317>.

**Madeniyet Yelubay\*** – Candidate of Chemical Science, Dean of the Faculty of Natural Sciences, Professor, Toraighyrov University; e-mail: yelubay.m@tou.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6209-5215>.

**Nurikamal Demeubayeva** – Master of Technical Sciences, researcher, Institute of geology, oil and gas, Satbayev University; e-mail: n.demeubayeva@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7944-6341>.

**Aigul Amitova** – PhD, Head of the Department of Chemical and Biochemical Engineering, Institute of geology, oil and gas, Satpayev University; e-mail: a.amitova@satbayev.university. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7721-6473>.

Поступила в редакцию 14.08.2024  
Поступила после доработки 02.09.2024  
Принята к публикации 03.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-45](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-45)



FTAXP: 31.27.23

**Н.Н. Нургалиев<sup>1\*</sup>, А.Ж. Акимжанов<sup>1</sup>, Е.П. Евлампиева<sup>1</sup>, Р.К. Динжуманова<sup>2</sup>,  
Д.Ж. Бекчанов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки көшесі, 20

<sup>2</sup>Семей қаласының Медициналық университеті,  
071400, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Абай көшесі, 103

<sup>3</sup>Мырза Ұлықбек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті,  
100174, Өзбекстан Республикасы, Ташкент қ., Университетская көшесі, 4

\*e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz

## ПЛАСТИКАЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПИРОЛИЗ ӘДІСІМЕН ҚАЙТА ӨНДЕУ

**Аңдатпа:** Пластикалық қалдықтарды химиялық қайта өңдеу пластмассаларды қайта өңдеудің қажетті қарқынына қол жеткізу және климатқа бейтарап және ресурстарды үнемдейтін айналмалы экономиканы құру үшін механикалық қайта өңдеуге пайдалы қосымша бола алады. Болашақта қайта өңдеуге ұшырайтын әртүрлі аралас пластикалық қалдықтар орташа қыздыру жылдамдығымен және пиролиз температурасымен сипатталатын аралық пиролиздің толығымен біркелкі жағдайында зерттеледі. Өнімнің таралуы және өнімнің таңдалған қасиеттері анықталады, процесстің массасы мен энергия балансы алынады. Өнімнің шығымдылығы мен құрамы пиролизденген қалдықтарға өте тәуелді. Барлық нәтижелер пиролиздің әртүрлі күрделі аралас қалдықтарынан химиялық шикізатты алу үшін қолайлы процесс екенін көрсетеді. Аралас пластик қалдықтарын пиролиз әдісімен химиялық қайта өңдеуге арналған негізгі массалық және энергетикалық баланстар анықталды. Шикізатты қайта өңдеуге арналған өнімдерді барлық зерттелген пластикалық қалдықтардан алуға болады. Өнімнің сапасы көбінесе шикізатқа байланысты. Жылытуға, балқытуға, пиролизге және булануға арналған энергияға деген қажеттілік шикізаттың калориялық құндылығының шамамен 5%-ын құрайды. Шикізат көміртегінің 50-ден 75%-ға дейін конденсатта қалпына келтірілуі және химия өнеркәсібіндегі құн тізбегіне қайта енгізілуі мүмкіндігін дәлелденді.

**Түйін сөздер:** пластикалық қалдық, қайта өңдеу, пиролиз, айналмалы экономика, қоршаған орта.

### Кіріспе

Еуропалық пластмасса түрлендіргіштерінің сұранысы 2021-жылы 50,7 миллион тоннаны құрады [1]. Буып-түю және құрылыс-бұл түпкілікті пайдаланудың ең ірі нарықтары, одан кейін автомобиль, электр және электронды қосымшалар. Көдімгі пластмассаларға және әдеттегі қолданбаларға сұранысы 1-кестеде берілген. Полиолефинді пластмассалар сұраныстың жартысынан көбін құрайды.

Германияда 2019 жылы шамамен 12 миллион тонна пластмасса тұтынылып, 6 миллион тоннаға жуық пластик қалдықтары жиналды. Қолданылуына байланысты кәдеге жарату қалдықтардың көлемінде мүлдем басқаша көрінеді. Әдетте қысқа мерзімді орауыш пластмассалар үшін тұтынылған массаның 95%-дан астамы қалдықтардан алынды. Өнімнің қызмет ету мерзімі ұзағырақ құрылыс және автомобиль пластмассалары жағдайында тұтыну мен қалдықтардың көлемі айтарлықтай алшақтайды. Демек, пластмассалардың көп мөлшері әлі де қолданылуда және болашақ қайта өңдеу тұжырымдамалары үшін өзекті болып қала береді.

2019 жылы жиналған пластикалық қалдықтардың 47%-ы тек механикалық қайта өңдеу процестеріне жіберілді. Шығарылатын өнім негізінде жиналған пластик қалдықтарының 32%-ы жаңа пластмасса бұйымдарын өндіру үшін қайта өңдеу ретінде қолжетімді болды. Керісінше, жиналған пластикалық қалдықтардың 53%-ы қалдықтарды жағу қондырғыларында энергияны қалпына келтіру үшін тікелей пайдаланылды немесе қалдықтардан алынатын отын ретінде пайдаланылды [2], нәтижесінде көмірқышқыл газы бөлінеді. Пластмассадағы көміртегі бұдан әрі материалды пайдалану үшін қол жетімді емес. Пластикалық қалдықтарды химиялық қайта өңдеуді масштабта және механикалық қайта өңдеуді толықтыра отырып, пластикалық материалдың, демек, циклде сақталатын көміртектің мөлшерін көбейту үшін құру қажет. Аралас пластик қалдықтарына, тазартылмаған және композиттік қалдықтар ағындарына, сондай-ақ термостаттар мен эластомерлер сияқты механикалық қайта өңдеуге болмайтын пластмассаларға назар аудару керек.

Сонымен қатар, химиялық қайта өңдеу химиялық қайта өңделген шикізаттан тың материал өндіруге мүмкіндік беру арқылы термопластикалық қайта өңдеулердің сапасы мәселесін шешеді.

Химиялық қайта өңдеуге сольволиз, пиролиз және газдандыру процестері жатады. Әрбір жағдайда мақсатты өнімдер химия өнеркәсібіндегі қолданыстағы технологиялық тізбектерге реинтеграциялануы мүмкін заттар болып табылады. Сольволиз кезінде пластикалық қалдықтар еріткіште оның мономерлі компоненттеріне ыдырайды. Оны арнайы пластмассаларға, негізінен полиэтиленге қолдануға болады терефталат, полиуретандар және полиамид. Шикізат қоспалары және процестің жоғары спецификалық бөліну күші кедергілер болып табылады [3]. Керісінше, газдандыруды қалдықтардың барлық түрлеріне қолдануға болады. Бұл көміртекті материалдардың ауамен, оттегімен, бумен немесе олардың қоспасымен ішінара тотығуын білдіреді [4]. Мақсатты өнім-көміртегі тотығы мен сутегінің негізгі компоненттері бар синтез газы есептеледі [3]. Жоғары температурада газдандыру әдісімен химиялық қайта өңдеу химиялық өнімдердің кең спектрі үшін қазба шикізатын алмастырады, бірақ мономерлерді өндіру үшін арнайы емес.

Пиролиз кезінде шикізат инертті атмосферада жоғары температурада ыдырайды. Бұл шикізатқа, технологиялық жағдайларға және нақты технологияға байланысты қатты, сұйық және газ тәрізді өнімдердің кең таралуына әкеледі. Сұйық пиролиз өнімдері қазба көмірсутегі шикізатын, атап айтқанда мономер өндірісінде алмастыра алады [4]. Металл және минералды ластаушы заттар бөлінеді [3].

Өнімдердегі гетероатомдар өнімнің сапасын төмендетеді және оларды ағынды өңдеуден бұрын алып тастау керек [4,5]. Осылайша, пластмассаларға арналған алғашқы өнеркәсіптік пиролиз процестері қазіргі уақытта полиолефиндерді орау сияқты қоспалардың төмен деңгейі бар таңдалған қалдық ағындарына бағытталған. Аралас пластик қалдықтарын ауқымды өңдеу үшін технологиялар әлі толық дамымаған [3,4].

### **Пластмассалардың пиролизі**

Пластмассалардың және осылайша түзілетін өнімдердің термиялық деградациясы полимер түріне өте тәуелді. Олардың Еуропадағы сұранысына, қолданылуына, ыдырау температурасына және пиролиздің негізгі өнімдеріне шолу жасайды. Ыдырау температурасынан басқа, конверсия және өнімнің шығымы шикізат пен өнімнің тұру уақытына байланысты. Негізінен, жоғары температурада қысқа тізбекті өнімдер, газдар, кокс көп түзіледі. Төмен температурада балауыздар мен майлы компоненттер көбірек алынады [4]. 1-кестеге сәйкес 400-ден 600<sup>0</sup>С-қа дейінгі аралық пиролиз қарапайым пластмассалардың ыдырауы үшін жарамды. Мұндағы мақсатты өнім негізінен конденсацияланған фаза болып табылады [4-34].

Кесте 1 – Пластмассалардың ыдырауын сипатталуы

Пластмасса	Қолданысы	2021 жылы ЕО-28, Норвегия, Швейцария елдеріндегі сұранысы, млн т.	Ыдырау механизмі (инертті орта)	Ыдырау температурасы (°C)	Өнімнің сипаттамасы
Полипропилен	Буып-түю, тұтыну тауарлары, құрылыс материалдары	9,8	Бір кезең	>370	Қысқа тізбекті алкандар және алкен
Тығыздығы жоғары полиэтилен	Тұтыну тауарлары, құрылыс материалдары	6,3	Бір кезең	>400	Парафинді балауыздар, алкандар, алкендер, диендер
Тығыздығы төмен полиэтилен	Азық-түлік қаптамасы, тұтыну тауарлары, пленкалар, жалпы мақсаттағы контейнерлер	8,8	Бір кезең	>400	Парафинді балауыздар, алкандар, алкендер, диендер
Полиэтилентер ефталат	Бөтелкелер, қаптамалар	4,0	Бір кезең	>300	СО, СО <sub>2</sub> , кокс, бензой қышқылы, ацетальдегид, қысқа тізбекті алифатиктер, бензол, толуол, формальдегид
Поливинилхлорид	Құрылыс материалдары, электроника	5,1	Екі кезең	250-350 дегидрохлорлану, >350 одан әрі деградация	НСІ, кокс, ароматты қосылыстар
Полистирол	Қаптама, жылу оқшаулау, электроника	3,1	Бір кезең	>300	Стирол, стирол олигомерлері, ароматты қосылыстар
Полиамид	Талшықтар, маталар, техникалық компоненттер	≈1	Бір кезең	>350	СО <sub>2</sub> , Н <sub>2</sub> О, кокс, е-капролактам, нитрилдер, аминдер
Стирол сополимері	Тұтыну тауарлары, құрылыс материалдары	≈1	Бір кезең	>340	Стирол, бутадиең, акрилонитрил, ароматты, нитрил
Полиуретан	Оқшаулау, қаптау, матрацтар, жабындар, желімдер	4,0	Екі кезең	Тұжырымдамға тәуелді	Изоцианат, аминдер, эфирлер, спирттер, СО <sub>2</sub> , HCN, NO <sub>x</sub> , кокс

### Материалдар мен әдістер

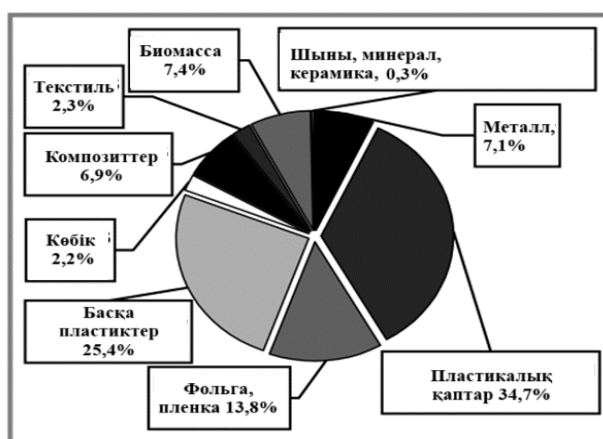
#### Зерттелген қалдықтар ағындары

Зерттелген шикізат қорлары пайда болуы, құрамы және көлемі Қаптаманы сұрыптаудың жеңіл қалдықтары (ҚСЖҚ), құрылыс қалдықтарын сұрыптаудың коммерциялық қалдықтары (КҚ), экструдталған полистирол негізіндегі сыртқы жылу оқшаулағыш композиттік жүйелер (ЭЖОКЖ), ұсақтағыштың жеңіл фракциясын (АҰҚ) механикалық өңдеуден алынған автоматты ұсақтағышының қалдықтары және электрлік және электронды қалдықтарды (ЭЭҚ) механикалық қайта өңдеуден алынған қалдықтар зерттелді. бойынша ең маңызды аралас пластикалық қалдықтар ағындарын білдіреді [2]. Барлық қалдықтар Германиядағы (ҚСЖҚ, КҚ, ЭЖОКЖ, ЭЭҚ) және Нидерландыдағы заманауи механикалық қайта өңдеу зауыттарынан келеді. 1-сурет қолмен сұрыптау талдауынан алынған, алынған жеңіл орауыш сұрыптау қалдықтарының құрамын көрсетеді. Әрбір шикізаттың элементтік құрамы, күл құрамы және төмен калориялылығы қойындыда көрсетіледі.

Барлық шикізат материалдары пластикалық қалдықтарды қайта өңдеудің тиісті механикалық процестеріне тән кесек мөлшерінде алынды. Осылайша, кондиционерлеу күші

әр шикізат үшін әр түрлі болды. Ұсақтауға болмайтын пластикалық бөлшектер, сондай-ақ макрокопиялық металл және керамикалық компоненттер қаптаманың жеңіл сұрыптау қалдықтарынан қолмен сұрыпталды. ЭЭҚ және ЭЖОКЖ шикізаты механикалық қайта өңдеу кезінде ұсақталған болатын. Гранулятор көмегімен (Retsch SM200) ҚСЖҚ, КҚ және АҰҚ шикізат материалдары бөлшектердің максималды мөлшері 6 мм-ге дейін азайтылды. Осы ұсақтаудан кейін шикізат кең көлемде қолмен араластыру арқылы біртектес болды. ЭЖОКЖ шикізат пиролиз реакторында пайдалану үшін масса мен көлемнің қолайсыз арақатынасына ие, сондықтан пеште кішірейтілген материалдың кеуектілігін төмендету үшін 120<sup>0</sup>С-тан 6 сағатқа дейін және көлемді тығыздықты арттыру үшін. Бұл температурада материалда айтарлықтай химиялық өзгерістер күтілмейді.

Ұсақталған ҚСЖҚ және біз ылғалды кетіру үшін пешке 105<sup>0</sup>С температурада кем дегенде 6 сағатқа қойдық. Зерттелетін қалдықтар ағындарының құрамы аймақтық, маусымдық, техникалық және кездейсоқ ауытқуларға ұшырайтынын атап өткен жөн.



Сурет 1 – Қолмен сұрыптауды талдау арқылы анықталатын, алынған жеңіл орауыш сұрыптау қалдықтарының кездейсоқ үлгісінің макрокопиялық құрамы

### *Пилоттық масштабтағы пиролиз эксперименттері Пиролиз реакторы*

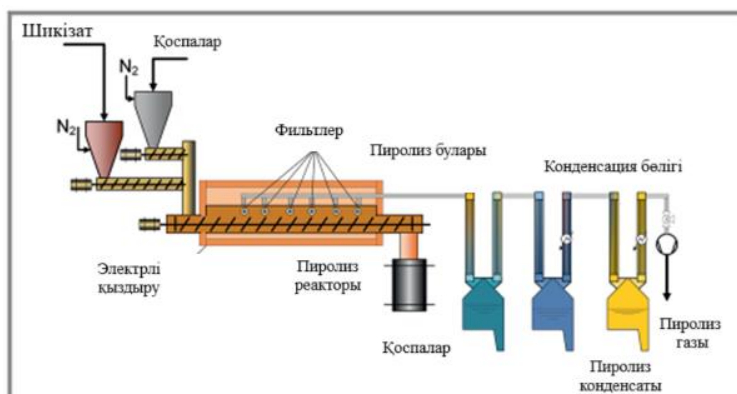
Пиролиз эксперименттері бұрын Томаси Моргано және т.б. сипаттаған КІТ Техникалық Химия Институтындағы пилоттық масштабтағы бұрандалы реактор жүйесін пайдалана отырып жүргізілді. [39, 40]. Оның құрамдас бөліктері 2-суретте көрсетілген.

Бұрандалы қоректендіргіштері бар екі қоректендіру бункері арқылы шикізат пен кварц құмы реакторға мөлшерленеді. Кәдімгі пластикалық қалдықтар үшін өткізу қабілеті шамамен 1 кг сағ<sup>-1</sup>, ал кварц құмының өткізу қабілеті шамамен 4 кг сағ<sup>-1</sup> құрайды. Нәтижесінде реакторды толтырудың максималды деңгейі 30% құрайды. Шұңқырлы геометрияны құрайтын реактордың қабырғалары реактор бойындағы ұзындығы 2 м электрмен қыздырылады. Бірнеше термопаралар температураның жоғарылауын бақылайды. Реактор түбіндегі белгіленген температурадан максималды ауытқу барлық өлшеу нүктелерінде 10<sup>0</sup>С-тан аз. Реактордың максималды температурасы -550<sup>0</sup>С. бұранданың диаметрі 150 мм. реактордың соңында қатты пиролиз қалдықтары бункерге шығарылады Пиролиз газдары мен булары реакция камерасынан керамикалық ыстық газды сүзгі элементтері арқылы алынады және сәйкесінше 60 және 5<sup>0</sup>С температурада екі сатыда жұмыс істейтін конденсация қондырғысына беріледі. Әрбір саты екі құбырлы жылу алмастырғышпен және электростатикалық тұндырғышпен жабдықталған. Реактор шамамен азот ағынымен үздіксіз шайылады. 19 л мин<sup>-1</sup> пиролиз газдары мен буларын жылдам шығару және онлайн аналитикалық жабдықты үздіксіз қамтамасыз ету үшін.

Қауіпсіздік мақсатында реактор шамамен 1 мбар шамалы теріс қысыммен реттеледі. Тұрақты пиролиз газдары газды талдаудың онлайн жүйесі арқылы өтеді және кейіннен алауға беріледі.

Кесте2 – Аралас пластик қалдықтарын алдын ала кондициялаудан кейін элементтік құрамы, күл мөлшері және төмен калориялық құндылығы

Қалдық	Күл (%)	C(%)	H (%)	N (%)	S (%)	Галоген(%)	O (%)	Төмен жану жылуы, МДж
ҚСЖҚ	10,6	58,5	7,5	<1	0,1	2,0	21,3	25
КҚ	9,2	74,7	8,8	<1	<0,05	3,3	3,9	34
ЭЖОКЖ	6,7	79,4	7,1	<1	<0,05	0,1	6,7	34
АҰҚ	13,5	68,0	8,6	1,8	0,2	0,9	6,9	31
ЭЭҚ	27,7	53,4	6,1	1,5	0,1	2,8	8,3	23



Сурет 2 – Бұрандалы пиролиз реакторы қоректендіру жүйесімен, ыстық газды сүзумен, қатты бункермен және пиролиз буларына арналған конденсация сатыларымен берілген

#### Тәжірибелік бөлім

Температура 450°C және қатты заттардың тұру уақыты шикізат өткізу қабілеті шамамен 30 мин. 1 кг сағ<sup>-1</sup> зерттелген шикізат қорларының бірыңғай анықтамалық негізі ретінде анықталды. Бір экспериментке шамамен 5 кг шикізат жұмсалды. Ешқандай қоспалар қолданылмады. Пластмассалар үшін тасымалдаушы және модератор ортасы ретінде қызмет ететін кварц құмы инертті деп есептелді.

Реактор эксперимент басталғанға дейін қажетті пиролиз температурасына дейін қызады және азотпен үздіксіз шайылады. Пластикалық шикізатқа құм шамамен 4-тен 1-ге дейінгі масса қатынасында қосылады. Ол шикізат үшін тасымалдаушы орта ретінде қызмет етеді және реактор арқылы жылу беруді және материалды тасымалдауды қолдайды. Шикізат реакторға енгізілгеннен кейін кем дегенде бірнеше 10°C мин<sup>-1</sup> қыздыру жылдамдығына ұшырайды. Тұру уақыты 30 мин. шикізат толығымен пиролизденуі және реактордың соңында реакцияға түспеген материал төгілмеуі үшін жеткілікті ұзақ. Тәжірибе барысында газдың тұрақты көлемінің шығыны мен негізгі газ түрлері үздіксіз өлшенеді. Пиролиз конденсаттары конденсацияның тиісті кезеңдерінде жиналады, әр эксперимент аяқталғаннан кейін өлшенеді және әрі қарай талданады. Сулы және майлы конденсат фазасы фазалық бөліну негізінде ажыратылады. Олар белгіш шұңқырмен қолмен алынады. Эксперименттің соңында көмір бункеріне берілетін пиролиздің қатты заттары да өлшенеді. Әрбір эксперименттік жүгіру басынан аяғына дейін толығымен теңестірілген [35-39].

#### Аналитикалық Әдістер

CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> және O<sub>2</sub> тұрақты газ түрлері пиролиз процесінің тұрақты күйін бақылау үшін инфрақызыл және парамагниттік детекторлармен (Gasmeter CX400, Siemens OXYMAT 6, Emerson XStream) онлайн режимінде талданады. Жалынды иондау детекторы (Siemens FIDAMAT 5E-E) – бұл көмірсутектердің жалпы құрамын өлшеу үшін қолданылады. Көлемдік ағын, төменгі жылу және тығыздық өлшенеді. Сонымен қатар, жылу өткізгіштік детекторы және жалын иондану детекторы (GC-TCD/FID, Agilent 7890b, HP 5890 II сериясы) бар газ хроматографында офлайн талдау үшін газ сынамалары алынады. Пиролиз газының түрлері осы GC талдаулары арқылы анықталады және сандық түрде анықталады.

Сұйық өнімдер элементтік арқылы сипатталады судың құрамын талдау және Карл Фишердің титрлеуі. Майлы фазаны GC-FID (Agilent 7890B, HP) талдайды 5890 II сериясы). Сұйық қосылыстардың көптігіне байланысты, GC-FID-де сандық анықтау «индикаторлық



қосылыстар» үшін жүзеге асырылады, атап айтқанда n-алкандар және 1–алкендер тізбектің ұзындығымен C<sub>5</sub>-C<sub>21</sub> сонымен қатар ароматты түрлер бензол, толуол, этилбензол, p-ксилен, o-ксилен, стирол, және фенол.

Массалық тепе-теңдікті есептеу үшін газ фракциясының көлемдік ағыны мен тығыздығы, сондай-ақ қатты және сұйық өнім фракцияларының салмақтары қолданылады.

Тәжірибелер кезінде реактордың энергияға қажеттілігі үздіксіз бақыланады. Әрбір эксперимент үшін анықталған энергияға деген қажеттілік тек кварц құмымен жұмыс істейтін энергияға деген сұраныспен түзетіледі. Осылайша, құмды жылытуға жұмсалған жылу шығыны мен энергияның орнын толтыру баланстан шығарылады. Конденсация қондырғысы энергия балансынан да шығарылады. Осылайша анықталған энергияға деген қажеттілік тек шикізатты қыздыру, химиялық реакцияны балқыту, булану және газ түрлерін қатты қыздыру процестеріне жұмсалатын энергияны ғана көрсетеді [40].

### **Нәтижелер және талқылау**

#### *Масса баланстары*

Пиролиз өнімінің жеке фракцияларының шығымы әр түрлі болады шикізаттың сипаттамалық құрамына байланысты. Белгілі бір шикізат қорында ол жемге әсер ететін біртектілікке, сондай-ақ өлшеу белгісіздігіне байланысты өзгереді. Пиролиз ерітінділерінің шығымы 10-нан 30%-ға дейін. Өнімнің бұл фракциясы пластмассалардың функционализациясынан және қалдықтардың ластануынан пайда болатын кокс және инертті материалдардан тұрады. Осылайша, қатты заттардың шығымдылығын түсіндіру кезінде шикізаттың күл құрамын ескеру қажет.

Пиролизденген шикізат массасының 40-тан 75%-ға дейін майлы конденсат түрінде кездеседі. Жылу оқшаулау жүйесі шикізат конденсаттың ең жоғары шығымдылығын көрсетеді, Ал ЭЭҚ және жеңіл қаптамаларды сұрыптау қалдықтарынан алынған майлы конденсаттың шығымы ең төмен болып табылады.

Шикізаттың 5%-ға дейін сулы фаза жүреді екінші конденсат фазасы ретінде. Пиролиз кептірілген шикізатпен жүргізілетіндіктен, реакторға химиялық байланысы жоқ суды сулы заттардың көзі ретінде енгізу пиролиз фракциясы төмен. Сулы конденсат осылайша құрамында оттегі бар пластмассаларға немесе биомассаның ластануына байланысты. АҰҚ және пиролиз эксперименттері инженерлік пластмассалардың күтілетін құрамымен ЭЭҚ сондай-ақ биомассамен ластанған ҚСЖҚ сулы өнімнің көбірек бөлінуін көрсетеді және осылайша мұны болжам растайды.

Тұрақты газ фракциясы 13-тен 30%-ға дейін құрайды жалпы массасы. Әдетте, нақты қалдықтармен осы пилоттық масштабтағы эксперименттер үшін массаның тепе-теңдігін жабуға болады. Ауытқулар нәтижесі реактордағы және конденсация қондырғысындағы шөгінділерден, сондай-ақ өлшеудегі дәлсіздіктерден есептеледі.

#### *Энергия баланстары*

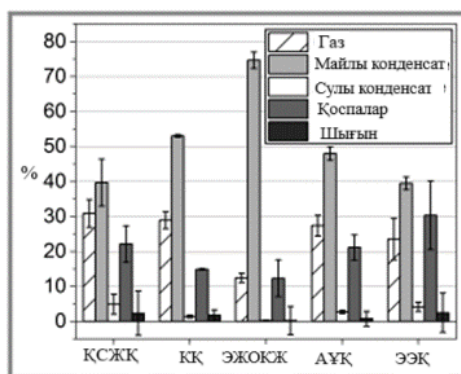
Эксперименттік қондырғы шешуге мүмкіндік бермейді сингулярлық фаза және материалды түрлендіру процестері. Зерттелген шикізат пластмассалар мен басқа материалдардың қоспасы болғандықтан, құрамындағы полимерлердің энергияға деген қажеттілігі тұрғысынан әсері туралы егжей-тегжейлі мәлімдемелер жасау мүмкін емес. Осылайша, анықталған энергия баланстары техникалық сипатта болады және қолданбалы контексте өзекті болып табылады.

Пиролиз эксперименттерінде анықталған қыздыруға, балқытуға, пиролизге және булануға арналған энергия талаптары ҚСЖҚ шикізаттың төменгі калориялық құндылығын қолдану арқылы қалыпқа келтірілген. Олар ҚСЖҚ үшін 5,1%, КҚ үшін 5,2%, ЭЖОЖ үшін 4,9%, АҰҚ үшін 5,4% және ЭЭҚ үшін 3,7% құрайды және осылайша тар шеңберде ауқымы. Техникалық процесте жылу шығыны мен қосалқы инфрақұрылымның энергияға деген қажеттілігі осы мәндерді арттырады.

#### *Өнімдерді талдау*

#### *Газ тәрізді өнімдер*

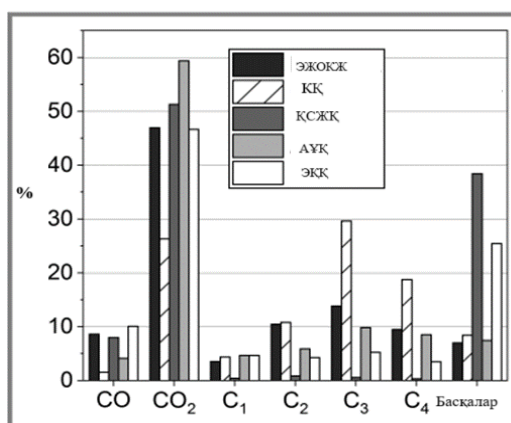
Барлық шикізат қорлары үшін көміртегі тотығы мен көмірқышқыл газы пиролиз газының негізгі компоненттері болып табылады. Газ массасының шамамен 60%-ы осы қосылыстарға жатады. Тек КҚ жағдайында көмірқышқыл газы мен көміртегі тотығы пиролиз газының едәуір аз үлесін шамамен 30% құрайды. Бұл туысқа байланысты шикізаттың тазалығы және оның құрамында химиялық байланысқан оттегінің аздығы. Алайда, бұл өте маңызды екенін атап өткен жөн шикізатқа байланысты тұрақты газдың әр түрлі мөлшері түрінде түзіледі (3-сурет).



Сурет 3 – Әр түрлі шикізатпен пиролиз эксперименттері үшін орташа массалық қалдықтар 450°C және 30 мин жағдайында алынды.

Пиролиз кезінде газ тәрізді көмірсутектер түзіледі. Таралуы шикізатқа байланысты өзгеріп отырады. ЭЖОКЖ-ның пиролизінен шыққан тұрақты газдарда қысқа тізбекті көмірсутектер жоқтың қасы. Барлық басқа шикізаттар үшін әр түрлі қарқындылықтағы пропан мен пропан (C<sub>3</sub>) үшін максимум бар. Коммерциялық шикізат қалдықтарынан алынған пиролиз газдары полиолефинді пластмассалар үшін күтілгендей пропан мен бутан концентрациясының жоғарылауын көрсетеді.

Белгісіз газ компоненттері «басқалар» ретінде 4-суретте берілген. Кіріс материалдарынан сутегі хлориді, галогенделген көмірсутектер, ұшпа азот және күкірт қосылыстары сияқты газдар бөлінуі мүмкін. Конденсация сатысына байланысты конденсаторлардың тұрақты газ фазасына қосымша тасымалдануы жүреді.

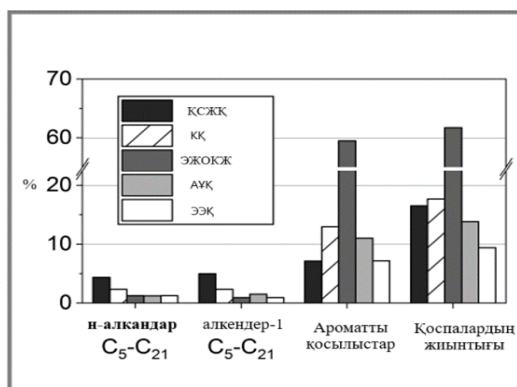


Сурет 4 – Пиролиз газдарындағы анықталған түрлер пиролиз эксперименттері үшін әр түрлі шикізатпен 450°C және 30 мин қатты заттардың тұру жағдайында алған.

#### Конденсацияланған өнімдер

Майлы конденсаттардың газ хроматографиялық талдауларының нәтижелері 5-суретте берілген. Конденсаттың барлық компоненттері қамтылмағанымен, талдаулар әртүрлі шикізат қорларындағы конденсаттар арасындағы айқын айырмашылықтарды көрсетеді. ҚСЖК пиролизінен алынған конденсатта n-алкандар мен 1-алкендерді, сондай-ақ ароматты қосылыстарды анықтауға болады. Барлығы конденсат массасының шамамен 20%-ды құрайтыны анықталды.

Коммерциялық қалдықтардан пиролиз конденсатында, n-алкандар мен 1-алкендер шамамен бірдей мөлшерде пропорциялар болады. Жалпы конденсат массасының шамамен 13%-ында ароматты қосылыстардың мөлшері анықталған алифатты көмірсутектерге қарағанда едәуір жоғары. Стирол, этилбензол және толуол-ең көп таралған қосылыстар. Полистиролдың сипаттамалық ыдырау өнімдері ретінде олар шикізаттағы полистиролдың болжамды маңызды құрамын көрсетеді. Конденсат массасының жалпы 18% - ын компонентке тағайындауға болады. Сондықтан изометриялық және ұзын тізбекті өнімдердің мөлшері тауарлық қалдықтардың пиролизінде де маңызды.



Сурет 5 – Мұнай пиролизінің конденсаттарындағы анықталған түрлер пиролиз эксперименттері үшін әр түрлі шикізатпен 450<sup>0</sup>С және 30 мин жағдайында алынған,

Полистирол негізіндегі ЭЖОКЖ негізінен ароматты қосылыстар конденсаттарды береді. Стирол мономері конденсат массасының шамамен 50% құрайтын негізгі компонент болып табылады. Ароматты қосылыстар компоненттермен салыстырғанда n-алкандар мен алкендердің-1 үлесі төмен.

Автокөлік ұсақтағыш қалдықтарының конденсаттарында, сол сияқты, алифатты индикатор қосылыстарының аз ғана пропорциялары ғана кездеседі. Толуол, этилбензол, стирол және әсіресе фенол көп мөлшерде анықталды. Индикаторлық қосылыстар жалпы конденсат массасының 11% құрайды. Жалпы алғанда, конденсат массасының 14%-ын қосылысқа жатқызуға болады. Автомобиль ұсақтағышының фракциясының пиролизі осылайша күрделі конденсат береді. Бұл шикізаттың құрамына, оның ішінде функционалдану дәрежесі жоғары пластмассалардың әртүрлі түрлеріне байланысты. Әр түрлі инженерлік пластмассалар конденсаттың күрделі құрамынан көрінеді. Майлы конденсаттағы азот мөлшері 2,5 %, галоген мөлшері 0,4% және күкірт мөлшері 0,1% шикізаттағы функционалды және инженерлік пластмассаларды одан әрі меңзейді.

ЭҚҚ шикізаты сонымен қатар функционалды инженерлік пластмассалардың қоспасы болып табылады. Фенол, стирол, этилбензол, толуол концентрациясы n-алкандар мен 1-алкендердің көрсеткіштерімен салыстырғанда едәуір жоғарылайды. Жалпы алғанда, ЭҚҚ конденсаты үшін жалпы массаның тек 9%-ын анықтауға болады, бұл оның күрделілігін көрсетеді.

Жалпы алғанда, жүргізілген талдаулармен қамтылмаған изомерлердің, құрамында гетероатомы бар компоненттердің және молекулалық салмағы жоғары түрлердің елеусіз мөлшерін күту керек. Кешенді элементтік талдау жүргізілген жоқ. Мұнда көрсетілген техникалық масштабтағы эксперименттерден алынған пиролиз өнімдерінің таралуы мен құрамы изомеризация және рекомбинация сияқты қайталама реакцияларға байланысты зертханалық масштабтағы эксперимент нәтижелерінен белгілі бір дәрежеде ауытқиды деп болжауға болады.

#### Қатты өнімдер

Кокс және инертті пиролиз өнімдерінен тұратын пиролиздің қатты денелері әдетте ұсақ түйіршікті және қосылған кварц құмымен біртекті түрде араласады. Пиролиз ерітінділерінің құммен сұйылтылуына байланысты егжей-тегжейлі талдаулар жүргізу оңай емес. Қатты қалдықтың құрамында металл және керамикалық компоненттер, мысалы, композициялық материалдардан және полимерлі толтырғыштар. Алынған қатты пиролиз өнімдерін фракциялау және егжей-тегжейлі зерттеу тақырыбы болған жоқ мұнда ұсынылған талдаулар.

#### Көміртектің шығымы

Пластикалық қалдықтарды химиялық қайта өңдеу жағдайында көміртегі ілмегін жабу ерекше қызығушылық тудырады. Көміртектің шығымдылығы шикізаттық көміртекке қатысты қайта өңдеуге болатын көміртектің мөлшерін білдіреді. Мұнда көміртектің шығымы тек майлы конденсаттағы көміртекті ескере отырып анықталды. Осы мақсатта конденсаттардың көміртегі мөлшері элементтік талдау арқылы анықталды және мұнай шығымдылығымен біріктірілді. Жұмыс істейтін эксперименттік қондырғы үшін қатты және газ фазалары үшін көміртекті теңестіру құм мен азотпен қатты сұйылтуға байланысты қиын, бұл көміртектің жан-жақты тепе-теңдігін болдырмайды. Ауқымды пиролиз қондырғысының орналасуына және егжей-тегжейлі

дизайнына байланысты конденсат фазасындағы көміртектен басқа, атап айтқанда, газ фазасындағы көміртекті де ішінара қайта өңдеуге болады. Демек, мәлімделген көміртегі шығымдылығын қайта өңдеудің ең төменгі көрсеткіштері ретінде түсіну керек. Көміртегі өнімділігі ҚСЖҚ үшін 51,1%, КҚ үшін 60,0%, ЭЖОКЖ үшін 74,6%, АҰҚ үшін 57,5% және ЭҚҚ үшін 60,5%-ын құрайды. Газдағы тотыққан көміртекті түрлердің құнын жеке бағалау керек сондай-ақ, пиролиз параметрлеріне қатысты шикізатқа тәуелді оңтайландыру жүргізілмегенін атап өткен жөн.

Енгізілген көміртектің кем дегенде 50%-ы майлы фазада қалпына келтіріледі және осылайша негізінен құн тізбегіне қайта енгізу үшін қол жетімді. Құрамында тек полистирол бар ЭЖОКЖ үшін шикізат көміртегінің шамамен 75%-ы майлы конденсатта болады. Пиролиз өнімдерінің құн тізбегінің реинтеграциясының потенциалы қалдықтардың әр түрі үшін нақты құрамы бойынша жеке бағалануы керек.

### **Қорытынды**

Аралас пластик қалдықтарын пиролиз әдісімен химиялық қайта өңдеуге арналған негізгі массалық және энергетикалық баланстар анықталды. Шикізатты қайта өңдеуге арналған өнімдерді барлық зерттелген пластикалық қалдықтардан алуға болады. Өнімнің сапасы көбінесе шикізатқа байланысты. Жылытуға, балқытуға, пиролизге және булануға арналған энергияға деген қажеттілік шикізаттың калориялық құндылығының шамамен 5%-ды құрайды. Шикізат көміртегінің 50-ден 75%-ға дейін конденсатта қалпына келтірілуі және химия өнеркәсібіндегі құн тізбегіне қайта енгізілуі мүмкін. Шикізатқа тәуелді пиролиз параметрлерін оңтайландыру, сондай-ақ ластаушы заттарды кетіруге арналған қоспаларды қолдану өнімді өңдеуден кейінгі күш-жігерді азайту үшін мұнай өнімінің шығымдылығы мен сапасын одан әрі жақсартуы мүмкін. Гетероатомды өнімдерді тарату және жою одан әрі зерттелуі керек.

### **Әдебиеттер тізімі**

1. [https://www.plasticseurope.org/download\\_file/force/4261/181](https://www.plasticseurope.org/download_file/force/4261/181) (Accessed on April 26, 2021).
2. Lindner C. Conversion Market & Strategy / C. Lindner, J. Schmitt, J. Hein // GmbH Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019. – 2020.
3. Stapf D. Wexler, in Energie aus Abfall / D. Stapf, H. Seifert, M. Wexler // Neuruppin. – 2019. – Vol. 16.
4. Chemisches Recycling von gemischten Kunststoffabfällen als ergänzender Recyclingpfad zur Erhöhung der Recyclingquote / A. Lechleitner et al // O<sup>3</sup>sterr. Wasser- und Abfallwirtsch. – 2020. – № 72(1-2). – P. 47-60. <https://doi.org/10.1007/s00506-019-00628-w>.
5. Evaluierung unter Realbedingungen von thermisch-chemischen / M. Seitz et al // Depolymerisations- technologien (Zersetzungsverfahren) zur Verwertung von Kunststoffabfällen, 1st Ed., Steinbeis-Edition, Stuttgart/ – 2020.
6. Aboulkas A. Energy Convers / A. Aboulkas, K. El harfi, A. El Bouadili // Manage. – 2010. – № 51(7), 1363-1369. 10.1016/ j.enconman.2009.12.017
7. A. Anene, S. Fredriksen, K. Sætre, L.-A. Tokheim, Sustainability 2018, 10 (11), 3979–3990. <https://doi.org/10.3390/ su10113979>.
8. Pyrolysis / H. Bockhorn et al // J. Anal. Appl. – 1999. – № 48(2). – P. 93-109. [https://doi.org/10.1016/ S0165-2370\(98\)00131-4](https://doi.org/10.1016/ S0165-2370(98)00131-4).
9. W.P.M. van Swaaij / R.W.J. Westerhout et al // Ind. Eng. Chem. Res. – 1997. – № 36(6). – P. 1955-1964. <https://doi.org/10.1021/ie960501m>
10. J.A. Conesa, A. Marcilla, R. Font, J.A. Caballero // J. Anal. Appl. Pyrolysis. – 1996. – № 36(1). – P. 1-15. [https://doi.org/10.1016/0165- 2370\(95\)00917-5](https://doi.org/10.1016/0165- 2370(95)00917-5).
11. Characteristics and kinetics of the gas releasing during oil shale pyrolysis in a micro fluidized bed reactor // J. Ceamanos et al // J. Anal. Appl. Pyrolysis. – 2002. – № 65(2), P. 93-110. [https://doi.org/10.1016/S0165- 2370\(01\)00183-8](https://doi.org/10.1016/S0165- 2370(01)00183-8).
12. Contat-Rodrigo L. A comparison of the biocompatibility of phosphate-buffered saline and dianeal 3.86% in the rat model of peritoneal dialysis / L. Contat-Rodrigo, A. Ribes-Greus, C. T. Imrie // J. Appl. Polym. Sci. – 2002. – № 86(3). – P. 764-772. <https://doi.org/10.1002/ app.10974>.
13. Wu T.-M. Preparation and characterization of thermoplastic vulcanizate/silica nanocomposites / T.-M. Wu, M.-Sh. Ch. // J. Appl. Polym. Sci. – 2005. – № 98(3), 1172–1179. <https://doi.org/10.1002/app.22124>.

14. Membrane-Bound Hydrogenase I from the Hyperthermophilic Bacterium *Aquifex aeolicus*: Enzyme Activation, Redox Intermediates and Oxygen Tolerance / M. Artetxe et al // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2010. – № 49(5). – P. 2064-2069. <https://doi.org/10.1021/ie900557c>.
15. Analysis of recycled PET bottles products by pyrolysis-gas chromatography / N. Dimitrov et al // *Polym. Degrad. Stab.* – 2013. – № 98(5). – P. 972-979. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.02.013>.
16. Dzieciol M., Trzeszczynski J. // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2000. – № 77(9). – P. 1894-1901. [https://doi.org/10.1002/1097-4628\(20000829\)77](https://doi.org/10.1002/1097-4628(20000829)77).
17. Holland B.J. The value and limitations of non-isothermal kinetics in the study of polymer degradation / B.J. Holland, J.N. Hay // *Thermochim. Acta.* – 2002. – № 388(1-2). – P. 253-273. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(02\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(02)00034-5).
18. Jenekhe S.A. Kinetics of the thermal degradation of polyethylene terephthalate / S.A. Jenekhe, J.W. Lin, B. Sun // *Thermochim. Acta.* – 1983. – № 61(3). – P. 287-299. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(83\)80283-4](https://doi.org/10.1016/0040-6031(83)80283-4).
19. R. Kinoshita, Y. Teramoto, T. Nakano, H. Yoshida // *J. Therm. Anal.* – 1992. – № 38(8). – P. 1891-1900. <https://doi.org/10.1007/BF01974683>.
20. M. Mehl, A. Marongiu, T. Faravelli, G. Bozzano, M. Dente, E. Ranzi // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 2004. – № 72(2). – P. 253-272. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.07.007>.
21. J. Yu, L. Sun, C. Ma, Y. Qiao, H. Yao // *Waste Manage.* – 2016. – № 48. – P. 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.041>.
22. Bouster C. Evolution of the product yield with temperature and molecular weight in the pyrolysis of polystyrene / C. Bouster, P. Vermande, J. Veron // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 1989. – № 15. – P. 249-259. [https://doi.org/10.1016/0165-2370\(89\)85038-7](https://doi.org/10.1016/0165-2370(89)85038-7).
23. Thermal degradation of polystyrene / T. Faravelli et al // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 2001. – № 60(1). – P. 103-121. [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(00\)00159-5](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(00)00159-5).
24. S. Lochner, *Pyrolyse von Polystyrol*, Dissertation, Universität Karlsruhe 2001. <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/3212001>.
25. I.C. McNeill // *Angew. Makromol. Chem.* – 1997. – № 247(1). – P. 179-195. <https://doi.org/10.1002/apmc.1997.052470112>.
26. P.D. Zeman // *Nature.* – 1953. – № 171(4348). – P. 391-392. <https://doi.org/10.1038/171391a0>.
27. B.J. Holland, J.N. Hay // *Polym. Int.* – 2000. – № 49(9). – P. 943-948. [https://doi.org/10.1002/1097-0126\(200009\)49:93.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/1097-0126(200009)49:93.0.CO;2-5).
28. S.V. Levchik, E.D. Weil // M. Lewin, *Polym. Int.* – 1999. – № 48(7). – P. 532-557. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0126\(199907\)48:73.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0126(199907)48:73.0.CO;2-R)
29. I. Lu'derwald, C. Aguilera // *Makromol. Chem. Rapid Commun.* – 1982. – № 3(5). – P. 343-347. <https://doi.org/10.1002/marc.1982.030030516>.
30. S. Str. aus, L.A. Wall // *J. Res. Natl. Bur. Stand.* – 1958. – № 60(1). – P. 39-45.
31. K.-H. Lee, D.-H. Shin, Y.-H. Seo, Korean // *J. Chem. Eng.* – 2006. – № 23(2). – P. 224-229. <https://doi.org/10.1007/BF02705720>.
32. M. Suzuki, C. A. Wilkie / *Polym. Degrad. Stab.* – 1995. – № 47(2). – P. 217-221. [https://doi.org/10.1016/0141-3910\(94\)00122-O](https://doi.org/10.1016/0141-3910(94)00122-O).
33. Wilson J.R. *Pyrolysis of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) Under High Heat Flux Conditions* / J.R. Wilson // M.Sc. Thesis, Utah State University (Logan). – 2013.
34. D.K. Chattopadhyay, D.C. Webster / *Prog. Polym. Sci.* – 2009. – № 34(10). – P. 1068-1133. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.06.002>
35. M. Herrera, *Untersuchung flüchtiger Verbindungen bei der thermischen Zersetzung von stickstoffhaltigen Polymerwerkstoffen*, Dissertation, Technische Universität München. – 2000.
36. Lattimer R.P. Low-temperature pyrolysis products from a polyether-based urethane / R.P. Lattimer, R.C. Williams // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 2002. – № 63(1). – P. 85-104. [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(01\)00143-7](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(01)00143-7).
37. M. Ravey, E. M. Pearce // *J. Appl. Polym. Sci.* – 1997. – № 63(1). – P. 47-74. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19970103\)63:13.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19970103)63:13.0.CO;2-S).
38. Doering E. Dehli, *Grundlagen der technischen Thermodynamik: Lehrbuch für Studierende der Ingenieurwissenschaften* / E. Doering, H. Schedwill, M. Dehli // 8th ed., Springer, Berlin. – 2016.
39. M. Tomasi Morgano, H. Leibold, F. Richter, H. Seifert // *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* – 2015. – № 113. – P. 216-224. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.12.019>.
40. M. Tomasi Morgano, H. Leibold, F. Richter, D. Stapf, H. Seifert // *Waste Manage.* – 2018. – № 73. – P. 487-495. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.049>.

**Н.Н. Нурғалиев<sup>1\*</sup>, А.Ж. Акимжанов<sup>1</sup>, Е.П. Евлампиева<sup>1</sup>, Р.Т. Динжуманова<sup>2</sup>,  
Д.Ж. Бекчанов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул.Глинки, 20

<sup>2</sup>Медицинский университет города Семей,  
071400, Республика Казахстан, г.Семей, ул.Абая, 103

<sup>3</sup>Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улыкбека,  
100174, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул.Университетская, 4

\*e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz

## **ПЕРЕРАБОТКА ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ПИРОЛИЗА**

*Химическая переработка пластиковых отходов может стать полезным дополнением к механической переработке для достижения требуемых темпов переработки пластмасс и создания климатически нейтральной и ресурсосберегающей экономики замкнутого цикла. Различные смешанные пластиковые отходы, подлежащие переработке в будущем, исследуются в полностью однородных условиях промежуточного пиролиза, характеризующихся умеренными скоростями нагрева и температурами пиролиза. Определены распределение продукта и выбранные свойства продукта, получен массовый и энергетический баланс процесса. Выход и состав продукта во многом зависят от пиролизированных остатков. Все результаты показывают, что пиролиз является подходящим процессом для получения химического сырья из различных сложных смешанных пластиковых отходов. Определены основные массовый и энергетический балансы химической переработки смешанных пластиковых отходов методом пиролиза. Продукты переработки сырья можно получить из всех исследованных пластиковых отходов. Качество продукции часто зависит от сырья. Затраты энергии на нагрев, плавление, пиролиз и испарение составляют около 5% от теплотворной способности сырья. Было продемонстрировано, что от 50 до 75% необработанного углерода можно извлечь из конденсата и повторно ввести в производственно-бытовую цепочку химической промышленности.*

**Ключевые слова:** пластиковые отходы, вторичная переработка, пиролиз, экономика замкнутого цикла, окружающая среда.

**N.N. Nurgaliyev<sup>1\*</sup>, A.Zh. Akimzhanov<sup>1</sup>, Y.P. Yevlampiyeva<sup>1</sup>, R.T. Dinzhumanova<sup>2</sup>,  
D.Zh. Bekchanov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim university of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey city, Glinki street, 20

<sup>2</sup>Medical university of Semey,  
071400, Republic of Kazakhstan, Semey city, Abay street, 103

National university Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,  
100174, Republic of Uzbekistan, Tashkent city, University street, 4

\*e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz

## **RECYCLING OF PLASTIC WASTE BY THE PYROLYSIS METHOD**

*Chemical recycling of plastic waste can be a useful complement to mechanical recycling to achieve the required rate of plastics recycling and create a climate-neutral and resource-saving circular economy. Various mixed plastic wastes to be recycled in the future are investigated under fully uniform intermediate pyrolysis conditions characterized by moderate heating rates and pyrolysis temperatures. The distribution of the product and the selected properties of the product are determined, and the mass and energy balance of the process is obtained. Product yield and composition are highly dependent on pyrolyzed residues. All results indicate that pyrolysis is a suitable process for obtaining chemical feedstocks from various complex mixed plastic wastes. The main mass and energy balances for chemical recycling of mixed plastic waste by pyrolysis method were determined. Products for recycling raw materials can be obtained from all investigated plastic waste. Product quality often depends on raw materials. The energy requirement for heating, melting, pyrolysis and evaporation is about 5% of the calorific value of the raw material. It has been demonstrated that 50 to 75% of the raw carbon can be recovered in the condensate and reintroduced into the value chain in the chemical industry.*

**Key words:** plastic wastes, recycling, pyrolysis, circular economy, environment.

### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Нұржан Нұрлыбекұлы Нұрғалиев\*** – PhD, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, «Химия және экология» кафедрасы; e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

**Асхат Жұмағалиұлы Акимжанов** – инженер-механик, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті; e-mail: agregataa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4244-9629>.

**Елена Петровна Евлампиева** – б.ф.к., Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, «Химия және экология» кафедрасы; e-mail: elena\_semei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1953-3686>.

**Раушан Тлеуғазықызы Динжуманова** – х.ф.к, доцент Семей қаласының Медицина университеті; e-mail: raushan.dinzhumanova@smu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8730-2404>.

**Давронбек Жұмазарұлы Бекчанов** – х.ф.д., профессор Мырза Ұлықбек атындағы Өзбекстан ұлттық университеті; e-mail: bekchanovdj@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8065-9651>.

#### Сведения об авторах

**Нуржан Нурлыбекович Нургалиев\*** – PhD, ст.преподаватель кафедры химии и экологии, Университета имени Шакарима; e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

**Асхат Жұмағалиұлы Акимжанов** – инженер-механик, Университета имени Шакарима; e-mail: agregataa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4244-9629>.

**Елена Петровна Евлампиева** – к.б.н., кафедры химии и экологии, Университета имени Шакарима; e-mail: elena\_semei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1953-3686>.

**Раушан Тлеуғазықызы Динжуманова** – к.х.н, доцент, Медицинский университет города Семей, e-mail: raushan.dinzhumanova@smu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8730-2404>.

**Давронбек Жұмазарұлы Бекчанов** – д.х.н., профессор Национального университета Узбекистана имени Мырза Улықбека; e-mail: bekchanovdj@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8065-9651>.

#### Information about the authors

**Nurzhan Nurlybekovich Nurgaliyev\*** – PhD, Shakarim university, department of «Chemistry and ecology»; e-mail: n.nurgaliyev@semgu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1216-7150>.

**Askhat Zhumagaliyevich Akimzhanov** – engineer-mechanic, Shakarim university; e-mail: agregataa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4244-9629>.

**Yelena Petrovna Yevlampiyeva** – cand.biol.sci., Shakarim university, department of «Chemistry and ecology»; e-mail: elena\_semei@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1953-3686>.

**Raushan Tleugazykyzy Dinzhumanova** – cand.chem.sci, assoc.professor Medical university of Semey; e-mail: raushan.dinzhumanova@smu.edu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8730-2404>.

**Davrombek Zhumazaruly Bekchanov** – doct.chem.sci., professor National university of Uzbekistan named after Nirzo Ulugbek; e-mail: bekchanovdj@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8065-9651>.

Редакцияға енуі 07.09.2024

Өңдеуден кейін түсуі 13.09.2024

Жариялауға қабылданды 18.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-46](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-46)

MPHTI: 31.27.21



**Л.К. Қажыгелдиева<sup>1</sup>, Б.Х. Мусабаяева<sup>1,2\*</sup>, А.У. Исаева<sup>1,3</sup>, А.Н. Сабитова<sup>1</sup>,  
Б.М. Силыбаева<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Международный университет Астана,

010000, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Кабанбай батыра, 8

<sup>3</sup>Шымкентский университет,

160031, Республика Казахстан, г. Шымкент, ул. Жибек жолы, 131

<sup>4</sup>Alikhan Vokeikhan University,

071400, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Мәңгілік ел, 11

\*e-mail: mussabayevabinur@gmail.com

#### **БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА ДИКОРАСТУЩЕГО ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТЕНИЯ *Salicornia europaea* L., ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО ОБЛАСТИ АБАЙ**

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследования наземной части растения *Salicornia europaea* L., произрастающего в области Абай. Проведен элементный анализ растительного сырья, определено содержание общего углерода, органического углерода, азота и серы. Получен спиртовой экстракт растительного сырья в аппарате Сокслета. Экстракт отфильтровали и использовали для химического анализа. Качественными реакциями обнаружено

присутствие в экстракте ряда биологически активных веществ, таких как, белки, терпены и стероиды, танины, ксантоны, фенольные соединения, флавоноиды, карбоновые кислоты и каротиноиды. Проведено количественное определение флавоноидов и катехинов в экстракте. Методом спектрофотометрии показано, что содержание флавоноидов в экстракте растения в пересчете на кверцетин равно  $0,31 \pm 0,03$  мкг/мл. Методом жидкостной хроматографии определено содержание катехинов в экстракте, что составило  $34,01 \pm 3,40$  мкг/мл. Методом FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) определена антиоксидантная активность экстракта. Показано, что с повышением концентрации экстракта от 0,01 до 0,05 мг/мл антиоксидантная активность возрастает. При концентрации экстракта 0,05 мг/мл антиоксидантная активность равна 3,084 мг ААЕ/мл экстракта. Сделано заключение, что растение может служить сырьем для получения космецевтической продукции.

**Ключевые слова:** галофит, экстракт, биологически активные вещества, антиоксидантная активность, натуральная косметика, космецевтическая продукция.

## Введение

В последние годы во всем мире значительно вырос спрос на натуральную косметику на основе растительных экстрактов. Для этих целей в качестве сырья лучше всего подходят лекарственные растения, которые содержат различные биологически активные вещества (БАВ), полезные для здоровья кожи. БАВ могут обладать противовоспалительной, антиоксидантной, солнцезащитной, антибактериальной и противоопухолевой активностью [1]. Спиртовые, водные или масляные экстракты лекарственных растений вводили в состав косметических средств: крема [2], мази [3], геля [4] и др. Тестирование этих средств показало положительное воздействие на кожу.

Часто готовят косметические композиции из растительных экстрактов и других натуральных компонентов. Например, маски для лица получали комбинированием растительного экстракта с пчелиным медом и лимонным соком [5]. Казахстанские ученые разработали ряд композиций, содержащих растительные экстракты, а также соль и илистую грязь озера Джаксы-Клыч близости Аральского моря. Полученные композиции показали противовоспалительную активность и гипоаллергенность [6].

Особый интерес представляет растение *Salicornia europaea* L. (солерос), которое относится к галофитам, содержит значительное количество минеральных солей, по составу близких к морской соли [7]. Наряду с этим солерос содержит разнообразные биологически активные вещества (БАВ), такие как флавоноиды, хромоны, стеролы, лигнаны, сапонины и др. [8]. Эти соединения обладают питательными, противовоспалительными свойствами и ускоряют регенерацию клеток кожи.

В работе [9] в аппарате Сокслета получен масляный экстракт *Salicornia europaea* L. Экстракт содержал значительное количество альфа-токоферола. На основе данного экстракта получен крем для лица, обладающий питательными и солнцезащитными свойствами.

Целью настоящей работы является изучение содержания некоторых биологически активных веществ растения *Salicornia europaea* L., произрастающего в области Абай.

## Материалы и методы

### Сбор и подготовка сырья к анализу

Растение собрано в области Абай в Калбатауском районе вблизи озера Ақтайлақ в августе 2023 года. Растение было высушено и воздушно-сухое сырье измельчено.

### Получение экстракта

Экстракцию проводили в аппарате Сокслета. 20 г измельченного сырья из наземной части растения смешали с 96% этиловым спиртом в соотношении 1:10 и нагревали при  $80^{\circ}\text{C}$  в течение 6 часов. Жидкий экстракт был отфильтрован и проанализирован.

Элементный анализ воздушно-сухого сырья на содержание азота, серы, общего углерода и органического углерода проводили на элементном анализаторе VarioMax (Elementar Analysen systeme GmbH, Германия) с 3-х кратной повторностью анализов.

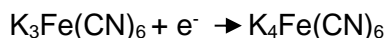
Качественное определение БАВ в экстракте проводили с помощью качественных реакций [10].

Количественное определение флавоноидов в пересчете на кверцетин проводили спектрофотометрическим методом [11] с 3-х кратной повторностью анализов.



Количественное определение катехинов проводили на жидкостном хроматографе Agilent 1200 с 3-х кратной повторностью анализов [11].

Антиоксидантную активность экстракта определяли на спектрофотометре SPECORD-210 Plus Analytikjena по методу FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), стандартом служит аскорбиновой кислота. Восстанавливающая способность экстракта оценивалась по реакции:



Значение FRAP выражалось в мг-эквиваленте аскорбиновой кислоты на мл экстракта (AAE) [12].

### Результаты и обсуждение

Таблица 1 – Данные элементного анализа *Salicornia europaea L.*

Содержание элементов, масс %			
Азот	Сера	Углерод (общий)	Углерод (органический)
2,88±0,25	0,72±0,05	35,42±0,18	35,28±0,65

Из табл. 1 видно, что содержание углерода, в том числе органического углерода в растении значительно ниже, чем в других растениях из-за значительного содержания минеральных солей в *Salicornia europaea L.*

Таблица 2 – Результаты качественного анализа экстракта на БАВ

Компонент	Качественная реакция	Результат*
Терпены и стероиды	Реакция Кобера: 1 мл 5% раствор фенола в серной кислоте	+
Белки	1 мл конц. азотной кислоты, 2 мл 30% NaOH	+
Танины	1% раствор железоммониевых квасцов	++
Ксантоны	1 мл 5% аммиака	++
Кумарины	Лактонная проба: 1-3 мл конц. серной кислоты	-
Фенольные соединения	Реакция Запрометова: 1 мл 1% раствора ванилина и 1 мл 1% серной кислоты	++
Флавоноиды	2 капли 5% хлорида алюминия	+
Карбоновые кислоты	1 мл ферроцианида калия и 1 мл железоммониевых квасцов	+
Каратиноиды	Реакция Карра-Прайса: 2 мл 1% перманганата калия	+

\*Обозначения: «+» – положительная реакция, «-» – отрицательная реакция, слабое окрашивание обозначено одним знаком «+», интенсивное окрашивание двумя знаками «++».

Таким образом, с помощью качественных реакций в составе экстракта обнаружены такие виды БАВ, как белки, терпены и стероиды, танины, ксантоны, фенольные соединения, флавоноиды, карбоновые кислоты и каратиноиды.

В табл. 3 приведены результаты количественного определения флавоноидов и катехинов.

Таблица 3 – Результаты количественного определения флавоноидов и катехинов

Объект анализа	Содержание флавоноидов в пересчете на кверцетин, мкг/мл	Содержание катехинов, мкг/мл
Экстракт <i>Salicornia europaea L.</i>	0,31±0,03	34,01±3,40

Как показано в таблице 3, в экстракте растения обнаружено присутствие флавоноидов и катехинов.

Таблица 4 – Результаты определения антиоксидантной активности экстракта *Salicornia europaea L.*

Концентрация экстракта (мг/мл)	Оптическая плотность при $\lambda=711$ нм	АОА (мг ААЕ/мл экстракта)
0,01	0,433	2,884
0,02	0,437	2,912
0,03	0,455	3,032
0,04	0,459	3,060
0,05	0,463	3,084

С повышением концентрации экстракта наблюдается увеличение АОА, при концентрации экстракта 0,05 мг/мл АОА= 3,084 мг ААЕ/мл экстракта.

### **Выводы**

Результаты исследований показали, что в наземной части *Salicornia europaea* L. содержатся биологически активные вещества, что подтверждено качественными реакциями и количественным анализом флавоноидов и катехинов. Показано, что экстракт растения проявляет антиоксидантную активность, при концентрации 0,05 мг/мл, равную 3,084 мг ААЕ/мл экстракта.

Таким образом, можно заключить, что растение *Salicornia europaea* L., произрастающее в области Абай, может стать уникальным сырьем для получения косметической продукции, т.к. содержит биологически активные вещества и минеральную соль.

### **Список литературы**

1. Shubayr N. Phytochemicals properties of herbal extracts for ultraviolet protection and skin health: A narrative review / N. Shubayr // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. – 2023. – V. 16:100729. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100729>.
2. Sundar M. Investigating the efficacy of topical application of Ipomoea carnea herbal cream in preventing skin damage induced by UVB radiation in a rat model / M. Sundar, K. Lingakumar // Heliyon. – 2023. – V. 9(9):e19161. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19161>.
3. Evaluation of extracts from Sidaacuta, Phyllanthusamarus, Parkiabiglobosa and their herbal ointment for therapeutic and biological activities / A-M. Donkor et al // Heliyon. – 2023. – V. 9(9):e19316. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19316>.
4. Preparation and evaluation of different herbal gels synthesized from Chinese medicinal plants as antimicrobial agents / C. Upadhyay et al // Pharmacological Research – Modern Chinese Medicine. – 2023 – V. 9:100313. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100313>.
5. Попруга О.А. Разработка рецептур и технологии производства маски для лица на основе натуральных растительных компонентов / О.А. Попруга, О.С. Восканян // Материалы Всероссийской научно-практ. конф. «Приоритетные направления современной науки и образования: актуальные вопросы и достижения». г. Чебоксары. – 18.06.2021.
6. Possibilities of Using Medicinal Plant Extracts and Salt-Containing Raw Materials from the Aral Region for Cosmetic Purposes / I. Nowak et al // Molecules. – 2022. – V. 27(16):5122. <https://doi.org/10.3390/molecules27165122>.
7. Temporal Changes in Biochemical Responses to Salt Stress in Three Salicornia Species / H. Homayouni et al // Plants. – 2024. – V. 13: 979. <https://doi.org/10.3390/plants13070979>.
8. Chemical Structure and Biological Activities of Secondary Metabolites from *Salicornia europaea* L. / S. Kim et al // Molecules. – 2021. – V. 26. – P. 2252. <https://doi.org/10.3390/molecules26082252>.
9. Karan S.I. Use of Glasswort (*Salicornia Europaea*) Plant as Raw Material in Cosmetics / S.I. Karan, C. Turan, M.K. Sangun // Conference paper: 2<sup>nd</sup> International Cosmetic Congress «Green Cosmetics». – 2018. – P. 59-61.
10. Музыкакина Р.А. Основы химии природных соединений / Р.А. Музыкакина, Д.Ю. Корулькин, Ж.А. Абилов. – Алматы: Қазақ университеті, 2010. – 564 с.
11. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 240 с.
12. Puji Kurniawati; Ika Rahma Maulida; Muhaimin The determination of antioxidant activity of Brazil-cherry (*Eugenia uniflora* L.) leaves extract using FRAP method // AIP Conference Proceedings. 1911, 2017. – 020019. <https://doi.org/10.1063/1.5016012>.

### **References**

1. Shubayr N. Phytochemicals properties of herbal extracts for ultraviolet protection and skin health: A narrative review / N. Shubayr // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. – 2023. – V. 16:100729. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100729>. (In English).
2. Sundar M. Investigating the efficacy of topical application of Ipomoea carnea herbal cream in preventing skin damage induced by UVB radiation in a rat model / M. Sundar, K. Lingakumar // Heliyon. – 2023. – V. 9(9):e19161. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19161>. (In English).

3. Evaluation of extracts from *Sidaacuta*, *Phyllanthusamarus*, *Parkiabiglobosa* and their herbal ointment for therapeutic and biological activities / A-M. Donkor et al // *Heliyon*. – 2023. – V. 9(9):e19316. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19316>. (In English).
4. Preparation and evaluation of different herbal gels synthesized from Chinese medicinal plants as an antimicrobial agents / S. Upadhyay et al // *Pharmacological Research – Modern Chinese Medicine*. – 2023 – V. 9:100313. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100313>. (In English).
5. Popruga O.A. Razrabotka retseptur i tekhnologii proizvodstva maski dlya litsa na osnove natural'nykh rastitel'nykh komponentov / O.A. Popruga, O.S. Voskanyan // *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakt. konf. «Prioritetnye napravleniya sovremennoi nauki i obrazovaniya: aktual'nye voprosy i dostizheniya»*. g. Cheboksary. – 18.06.2021. (In Russian).
6. Possibilities of Using Medicinal Plant Extracts and Salt-Containing Raw Materials from the Aral Region for Cosmetic Purposes / I. Nowak et al // *Molecules*. – 2022. – V. 27(16):5122. <https://doi.org/10.3390/molecules27165122>. (In English).
7. Temporal Changes in Biochemical Responses to Salt Stress in Three *Salicornia* Species / N. Homayouni et al // *Plants*. – 2024. – V. 13: 979. <https://doi.org/10.3390/plants13070979>. (In English).
8. Chemical Structure and Biological Activities of Secondary Metabolites from *Salicornia europaea* L. / S. Kim et al // *Molecules*. – 2021. – V. 26. – P. 2252. <https://doi.org/10.3390/molecules26082252>. (In English).
9. Karan S.I. Use of Glasswort (*Salicornia Europaea*) Plant as Raw Material in Cosmetics / S.I. Karan, C. Turan, M.K. Sangun // *Conference paper: 2nd International Cosmetic Congress «Green Cosmetics»*. – 2018. – P. 59-61. (In English).
10. Muzychkina R.A. Osnovy khimii prirodnykh soedinenii / R.A. Muzychkina, D.YU. Korul'kin, ZH.A. Abilov. – Almaty: Qazaq universiteti, 2010. – 564 s. (In Russian).
11. Rukovodstvo po metodam kontrolya kachestva i bezopasnosti biologicheskii aktivnykh dobavok k pishche. – M.: Federal'nyi tsentr gossanehpindadzora Minzdrava Rossii, 2004. – 240 s. (In Russian).
12. Puji Kurniawati; Ika Rahma Maulida; Muhaimin The determination of antioxidant activity of Brazil-cherry (*Eugenia uniflora* L.) leaves extract using FRAP method // *AIP Conference Proceedings*. 1911, 2017. – 020019. <https://doi.org/10.1063/1.5016012>. (In English).

### **Информация о финансировании**

*Работа проведена при финансовой помощи Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант АР 23488960 «Разработка технологии получения новой космецевтической продукции на основе отечественного природного сырья».*

**Л.К. Қажыгелдиева<sup>1</sup>, Б.Х. Мұсабаева<sup>1,2\*</sup>, А.У. Исаева<sup>1,3</sup>, А.Н. Сабитова<sup>1</sup>,  
Б.М. Силыбаева<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәпім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к., 20 А

<sup>2</sup>Астана халықаралық университеті,  
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Қабанбай батыр даңғылы, 8

<sup>3</sup>Шымкент Университеті  
160031, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Жібек жолы к., 131

<sup>4</sup>Alikhan Bokeikhan University,  
071400, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Мәңгілік ел к.,11

\*e-mail: mussabayevabinur@gmail.com

### **АБАЙ ОБЛЫСЫНДА ЖАБАЙЫ ӨСЕТІН *Salicornia Europaea* L. ДӘРІЛІК ӨСІМДІГІНІҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРЫ**

*Мақалада Абай облысында өсетін Salicornia Europaea L. өсімдігінің жер үсті бөлігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Өсімдік шикізатына элементтік анализ жүргізілді, жалпы көміртектің, органикалық көміртектің, азоттың және күкірттің мөлшері анықталды. Сокслет аппаратында өсімдік шикізатының спирттік экстракты алынды. Экстракт фильтрленіп, химиялық анализ үшін қолданылды. Сапалық реакциялар арқылы экстрактта белоктар, терпендер және стероидтар, таниндер, ксантондар, фенолдық қосылыстар, флавоноидтар, карбон қышқылдары және каратиноидтар сияқты бірқатар биологиялық белсенді заттардың бар екені анықталды.*

Экстракттағы флавоноидтар мен катехиндердің мөлшерін анықтау жүргізілді. Спектрофотометрия әдісімен өсімдік экстрактында кверцетинге есептегенде флавоноидтардың мөлшері  $0,31 \pm 0,03$  мкг/мл-ге тең екендігі көрсетілген. Сұйықтық хроматография әдісімен экстракттағы катехиндердің мөлшері анықталды, ол  $34,01 \pm 3,40$  мкг/мл құрады. FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) әдісімен экстракттың антиоксиданттық белсенділігі анықталды. Экстракт концентрациясының 0,01-ден 0,05 мг / мл-ге дейін артқанда антиоксиданттық белсенділік артады. Экстракттың 0,05 мг / мл концентрациясында антиоксиданттық белсенділік 3,084 мг ААЕ/мл экстракт тең. Зерттелген өсімдік космецевтикалық өнімдерді алу үшін шикізат ретінде қызмет ете алады деген қорытынды жасалды.

**Түйін сөздер:** галофит, экстракт, биологиялық белсенді заттар, антиоксиданттық белсенділік, табиғи косметика, космецевтикалық өнімдер.

**L.K. Kazhygeldiyeva<sup>1</sup>, B.Kh. Mussabayeva<sup>1,2\*</sup>, A.U. Issayeva<sup>1,3</sup>, A.N. Sabitova<sup>1</sup>,  
B.M. Silybayeva<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A

<sup>2</sup>Astana International University,  
010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Kabanbai Batur Ave., 8

<sup>3</sup>Shymkent University  
160031, Republic of Kazakhstan, Shymkent, Silk Road str., 131

<sup>4</sup>Alikhan Bokeikhan University,  
071400, Republic of Kazakhstan, Semey, Mangilik el str., 11  
\*e-mail: mussabayevabinur@gmail.com

#### **BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF WILD PLANTS MEDICINAL PLANT *Salicornia europaea* L., NATIVE TO THE ABAI REGION**

The article presents the results of a study of the nominal part of the *Salicornia europaea* L. population growing in the Republic of Abai. An elemental analysis of plant raw materials was carried out, the content of total carbon, organic carbon, nitrogen and sulfur was determined. An alcoholic extract of vegetable raw materials was obtained in the Soxhlet apparatus. The extract was filtered and used for chemical analysis. Qualitative reactions revealed the presence of a number of biologically active substances in the extract, such as proteins, terpenes and steroids, tannins, xanthenes, phenolic compounds, flavonoids, carboxylic acids and caratinoids. The quantitative determination of flavonoids and catechins in the extract was carried out. The spectrophotometry method showed that the content of flavonoids in the plant extract in terms of quercetin is  $0.31 \pm 0.03$   $\mu\text{g/ml}$ . The content of catechins in the extract was determined by liquid chromatography, which amounted to  $34.01 \pm 3.40$   $\mu\text{g/ml}$ . The FRAP (Iron Reducing Antioxidant Power) method is used an antioxidant strategy. It has been shown that with an increase in the concentration of the extract from 0.01 to 0.05 mg/ml, the antioxidant activity increases. At an extract concentration of 0.05 mg/ml, the antioxidant activity is 3.084 mg AAE/ml of the extract. It is concluded that the plant can serve as a raw material for production of cosmeceutical products.

**Key words:** halophyte, extract, biologically active substances, antioxidant activity, natural cosmetics, cosmeceutical products.

#### **Сведения об авторах**

**Лаура Карлқызы Кажыгелдиева** – PhD докторант кафедрасы «Химия и экология»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: lauka\_nurik2014@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1031-7234>.

**Бинур Хабасовна Мусабаева\*** – кандидат химических наук, профессор Педагогического института, Международный университет Астана, Республика Казахстан; e-mail: mussabayevabinur@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2209-1209>.

**Акмарал Умирбековна Исаева** – доктор биологических наук, профессор, директор НИИ экологии и биологии; Шымкентский Университет, Республика Казахстан; e-mail: akmaral.issayeva@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8323-3982>.

**Альфира Нуржановна Сабитова** – PhD, заведующий кафедрой «Химия и экология»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: alfa-1983@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3360-7998>.

**Батияш Мукановна Силыбаева** – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Прикладная биология»; Alikhan Bokeikhan University, Республика Казахстан; e-mail: batiyashsilybaeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8904-1754>.

### Авторлар туралы мәліметтер

**Лаура Карлқызы Қажыгелдиева** – PhD докторант кафедрасы «Химия және экология» кафедрасының PhD докторанты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: lauka\_nurik2014@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1031-7234>.

**Бинур Хабасовна Мұсабаева\*** – химия ғылымдарының кандидаты, Педагогикалық институт профессоры, Астана халықаралық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: mussabayevabinur@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2209-1209>.

**Акмарал Умирбековна Исаева** – биология ғылымдарының докторы, профессор, Экология және биология ҒЗИ директоры; Шымкент Университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: akmaral.issayeva@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8323-3982>.

**Альфира Нұржанқызы Сабитова** – PhD, «Химия және экология» кафедрасының меңгерушісі; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: alfa-1983@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3360-7998>.

**Батияш Мукановна Силыбаева** – биология ғылымдарының кандидаты, «Қолданбалы биология» кафедрасының доценті; Alikhan Bokeikhan University, Қазақстан Республикасы; e-mail: batiyashsilybaeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8904-1754>.

### Information about the authors

**Laura Kazhygeldiyeva** – PhD student of the department «Chemistry and ecology»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: lauka\_nurik2014@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1031-7234>.

**Binur Mussabayeva** – Candidate of Chemical Sciences, Professor of Pedagogical Institute, Astana International University, Republic of Kazakhstan; e-mail: mussabayevabinur@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2209-1209>.

**Akmaral Issayeva** – Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the Research Institute of Ecology and Biology; Shymkent University, Republic of Kazakhstan; e-mail: akmaral.issayeva@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8323-3982>.

**Alfira Sabitova** – head of the department «Chemistry and ecology»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: alfa-1983@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3360-7998>.

**Batiyash Silybayeva** – Candidate of Biological Sciences, associate professor of the department «Applied Biology», Alikhan Bokeikhan University, Republic of Kazakhstan; e-mail: batiyashsilybaeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8904-1754>.

Поступила в редакцию 09.09.2024

Поступила после доработки 13.09.2024

Принята к публикации 16.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-47](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-47)

MPHTI: 31.25.23



**B. Kenzhaliyev<sup>1</sup>, T. Ketegenov<sup>2</sup>, K. Kamunur<sup>2,3</sup>, A. Batkal<sup>2,3\*</sup>, R. Nadirov<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation,  
050010, Shevchenko str., 29/133, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Institute of Combustion Problems,  
050012, Bogenbay batyr str., 172, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>Al-Farabi Kazakh National University,  
050040, Al-Farabi ave., 71, Almaty, Kazakhstan  
e-mail: abatkalova@mail.ru

## EFFICIENT COPPER EXTRACTION FROM CHALCOPYRITE USING THE «GLYCOLIC ACID – ETHYLENE GLYCOL – SODIUM LAURYL SULFATE» SYSTEM

**Abstract:** This research explores a sustainable and efficient method for extracting copper from chalcopyrite, utilizing an innovative leaching system composed of glycolic acid, ethylene glycol, and sodium lauryl sulfate (SLS). The optimal conditions identified were 1,0 M glycolic acid, 20% (v/v) ethylene glycol, 0,8% (w/v) SLS, and a temperature of 75°C, achieving up to 85% copper recovery. Glycolic acid plays a dual role, promoting the breakdown of the chalcopyrite structure and stabilizing copper ions in the solution. SLS improves the leaching efficiency by disrupting the passivating sulfur layer, allowing for better solution penetration. Additionally, ethylene glycol prevents the precipitation of sulfur, further enhancing the process. The

*combination of these components creates a synergistic effect that improves copper recovery while minimizing environmental impact. The findings suggest that this leaching system could serve as a sustainable and efficient alternative to the traditional pyrometallurgical methods, offering potential applications in industrial copper recovery processes.*

**Key words:** *chalcopyrite; copper recovery; leaching; glycolic acid; ethylene glycol; sodium lauryl sulfate.*

## **Introduction**

Copper is an important metallic substance required in various fields such as electronics, building and transportation. Wrought metal also embodies various beneficial properties like high electrical and thermal conductance, or prevention from being corroded and so on, hence it is widely used in the manufacture of electric wirings, plumbing's and many more. The recovery of copper from its primary ores, especially copper grades of chalcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$ ), thus needs to be carried out for all countries. But together with the common mass concentration of copper ores operationally used today, the pyrometallurgical procedure of copper recovery involves some significant drawbacks regarding energy and environmental aspects [1-4].

Pyrometallurgy techniques inherently produce greenhouse gas emissions which is unacceptable in hydrometallurgical processes. In addition to this, the way it is directed now pyrometallurgy is not effective in the treatment of waste materials because of high energy consumption particularly now that fossil fuels are being done away with. These disadvantages have aroused the new technologies which do not use toxic and wastes to be disposed of for copper metal, thus the rise of hydrometallurgy [5-9].

Hydrometallurgy, which involves the use of aqueous chemistry for metal extraction, offers several advantages over pyrometallurgy, including lower energy requirements, the ability to operate at ambient pressure and temperature, and a reduced environmental footprint [10-12]. However, the hydrometallurgical recovery of copper from chalcopyrite is notoriously challenging. Chalcopyrite, the most common copper-bearing mineral, exhibits a high resistance to leaching, primarily due to its complex crystal structure and the formation of a passivating layer of elemental sulfur throughout the leaching. This sulfur layer acts as a barrier, preventing the leaching solution from effectively penetrating and dissolving the copper within the mineral matrix.

Over the years, various strategies have been explored to overcome the leaching resistance of chalcopyrite [15-18]. High-temperature pressure leaching, bioleaching using microorganisms, and the use of potent oxidizing agents like hydrogen peroxide have shown some success. However, these methods often involve high costs, complex operational requirements, or extended processing times, limiting their practical application on an industrial scale.

In recent developments, the use of non-polar organic solvents has garnered attention as a means to enhance chalcopyrite leaching [17-19]. These solvents, particularly ethylene glycol, have demonstrated the ability to disrupt the formation of passivating sulfur layers, thereby improving copper recovery rates. Ethylene glycol, a widely available and cost-effective solvent, has been shown to interact with the mineral surface, preventing the formation of a continuous sulfur layer and facilitating the extraction process.

In addition to solvent selection, the use of surfactants has been identified as a key factor in improving leaching efficiency. Surfactants such as sodium lauryl sulfate (SLS) can reduce the surface tension of the leaching solution, enhancing the wetting of the mineral surface and promoting better interaction between the leaching agents and the mineral. SLS has also been reported to alter the adsorption behavior of sulfur species on the mineral surface, further aiding in the leaching process.

Given these promising findings, this study aims to investigate the potential of a novel leaching system that combines glycolic acid, ethylene glycol, and sodium lauryl sulfate (SLS) for the efficient recovery of copper from chalcopyrite. Glycolic acid is selected for its strong chelating properties and its ability to dissolve metal ions, while ethylene glycol and SLS are incorporated to enhance the overall leaching efficiency. The study will focus on optimizing key process parameters, including acid concentration, temperature, and leaching duration, to achieve maximum copper recovery.

By exploring the synergistic effects of glycolic acid, ethylene glycol, and SLS, this research seeks to develop a more sustainable and economically viable hydrometallurgical process for copper recovery. The findings from this study could provide valuable insights into improving the efficiency of copper extraction from chalcopyrite and potentially pave the way for the broader adoption of environmentally friendly leaching technologies in the metallurgical industry.

## Materials and Methods

### Materials

The chalcopyrite sample used in this study was ground to a particle size of less than 74  $\mu\text{m}$  to increase the surface area available for leaching. The glycolic acid ( $\geq 99\%$  purity) was used as the primary leaching agent. Ethylene glycol ( $\geq 99\%$  purity) was used and served as the solvent to enhance the leaching process. Sodium lauryl sulfate (SLS) ( $\geq 99\%$  purity) was used as a surfactant to improve the wetting of the mineral surface. Distilled water was used for all solution preparations and washings.

### Leaching Procedure

The leaching of chalcopyrite sample were performed out in batch reactors, utilizing 200 mL round-bottom glass vessels fitted with magnetic stirrers to ensure uniform mixing. The reactor temperature was controlled using a thermostatic water bath. Leaching solutions were prepared by dissolving the required amount of glycolic acid in distilled water, followed by the addition of ethylene glycol and SLS in specified ratios. The concentrations of glycolic acid ranged from 0,5 M to 1,5 M, ethylene glycol was used in concentrations ranging from 10% to 30% (v/v), and SLS concentrations was maintained at 0,8% (w/v).

For each experiment, 5 grams of chalcopyrite was added to 100 mL of the leaching solution in the reactor, maintaining a solid-to-liquid ratio of approximately 5%. The temperature was varied from 25 to 75  $^{\circ}\text{C}$ . Samples were taken every 30 minutes, to monitor the leaching progress. Each sample was filtered to separate the solid residue from the leachate.

### Analytical techniques

The elemental composition of both the solid and liquid phases was determined using a Savant AA spectrometer (GBC, Malaysia). Before analysis, the solid samples underwent a preliminary digestion process with concentrated nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ) at a temperature of 90-95 $^{\circ}\text{C}$  and a pressure of 9-10 atm. This digestion was performed using the Tank-Eco microwave decomposition system (Sineo, China), ensuring complete breakdown of the solid matrix for accurate elemental analysis [18].

X-ray diffraction (XRD) patterns of the initial chalcopyrite and the leaching residues were collected using a D8 Advance diffractometer (Bruker, Germany). The instrument operated with  $\text{CuK}\alpha$  radiation at 40 kV and 40 mA, providing detailed phase identification and structural analysis. The scanning was performed over a wide 2 $\theta$  range to ensure accurate detection of crystalline phases, and the resulting patterns were analyzed to compare the mineralogical composition before and after the leaching process[18].

All measurements of copper content in solid and liquid samples were carried out in three replicates. In all cases, the variation did not exceed 3%. The graphs showing the dependence of copper extraction into solution on experimental conditions were constructed using the average values of copper concentration in the solution.

## Results and Discussion

### Characterization of initial copper concentrate

The chemical composition (wt. %) of the concentrate was: Cu 25,7, Fe 24,1, Si 10,9.

Chalcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$ ) and quartz ( $\text{SiO}_2$ ) have been identified as crystalline phases in the starting concentrate according to XRD analysis (Fig.1).

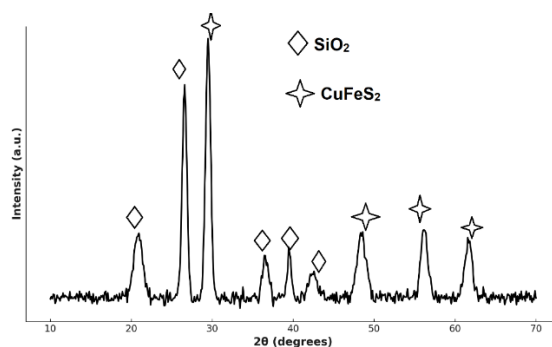


Figure 1 – XRD pattern of chalcopyrite sample

Visually, the concentrate appeared as a finely dispersed powder with a grayish-golden hue and a characteristic metallic luster, indicating a high content of copper sulfides. Light, matte

inclusions were observed within the powder, corresponding to quartz impurities. The visual homogeneity of the concentrate suggested a uniform phase distribution, which could facilitate a consistent and efficient leaching process.

#### Leaching experiments

##### Effect leaching conditions on copper recovery

Within this period, ranging from 0 to 60 minutes, all three acid concentrations (0,5 M, 1,0 M, 1,5 M) showed an increase in copper recovery. For the 30th minute, copper recovery is 34% for 0,5 M, 41% for 1,0 M, and 47% for 1,5 M. Indeed, the result has shown that with the increment in acid concentration, copper leaching had been performed more efficiently in the first stage. At 60 minutes, copper recoveries further increased to 49% for 0,5 M, 54% for 1,0 M, and 57% for 1,5 M, which stipulates that the leaching process continued accelerating. During the intermediate period, between 60 to 120 minutes, copper recovery further increases at a slow rate. During the end of the 90th minute, the recovery rates were 64% for 0,5 M, 67% for 1,0 M, and 68% for 1,5 M. The uptrend follows through to the 120-minute mark and attains the percentages of recovery: 69% for 0,5 M, 79% for 1,0 M, and 81% for 1,5 M. Conspicuously, the deviation between the 1,0 M and 1,5 M copper recoveries is starting to widen at this moment, where 1,5 M has the better performance. The last stage is the recovery, which, after 120-210 minutes, slowly approaches a plateau. Within the 150th minute, recoveries reach 70%, 81%, and 84% for 0,5 M, 1,0 M, and 1,5 M, respectively. Additional slight increments up to the 210th minute result in the stabilization of copper recovery at 72%, 84%, and 86% recovery for 0,5, 1,0, and 1,5 M, respectively. Increasing the concentration of glycolic acid favored the increase of copper recovery, with the highest gains at higher concentrations. However, at 120 minutes, the rate of increase becomes minimal since complete leaching has taken place, and any further increase in the acid concentration becomes almost negligible.

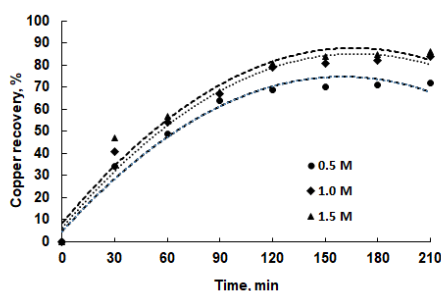


Figure 2 – Effect of glycolic acid concentration on copper recovery into solution at 75°C in the presence of 30% (v/v) ethylene glycol and 0,8% (w/v) SLS

Since raising the acid concentration beyond 1,0 M did not significantly influence copper extraction into the solution, subsequent experiments were conducted using this acid concentration.

Figure 3 illustrates the impact of ethylene glycol content in the solution on copper extraction, while the other experimental parameters were kept constant: temperature at 75°C, glycolic acid concentration at 1,0 M, and SLS concentration at 0,8% (w/v).

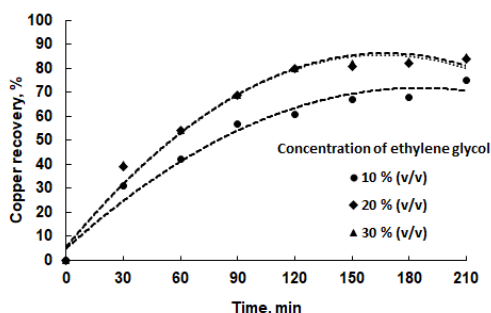


Figure 3 – Effect of ethylene glycol concentration on copper recovery into solution at 75°C in the presence of 1.0 M of glycolic acid and 0,8% (w/v) SLS

At the beginning of the leaching, copper extraction increases noticeably with higher ethylene glycol concentrations. After 30 minutes, copper recovery reaches 31% with 10% ethylene glycol,



39% with 20%, and 40% with 30%. By the 60 minute, extraction rises to 42% for 10% ethylene glycol and 54% for both 20% and 30%. This trend of increasing copper extraction continues further. By 90 minutes, copper recovery climbs to 57% for 10% ethylene glycol, and 69% for both 20% and 30%. At 120 minutes, extraction reaches 61% for 10% and 80% for both 20% and 30%. After 120 min of leaching, copper recovery begins to level off. At 150 minutes, recovery stands at 67% for 10%, 81% for 20%, and 82% for 30%. By the end of the 210-minute period, extraction reaches 75% for 10% ethylene glycol, 84% for 20%, and 85% for 30%. Subsequent experiments were carried out with 20% (v/v) ethylene glycol in the solution.

It was important to identify the effect of temperature on copper extraction during leaching. Higher temperatures accelerate the dissolution of minerals, and enhance the rate of copper extraction. However, it is also essential to determine the optimal temperature at which the process yields the highest copper recovery without causing unnecessary energy consumption or potential degradation of the leaching agents.

Figure 4 shows the effect of temperature on copper recovery from chalcopyrite in the presence of 1,0 M of glycolic acid, 20% (v/v) ethylene glycol and 0,8% (w/v) SLS.

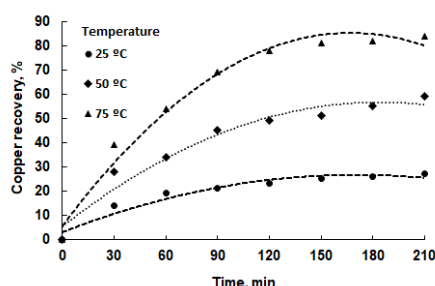


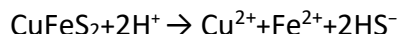
Figure 4 – Effect of leaching temperature on copper recovery into solution in the presence of 1.0 M of glycolic acid, 20% (v/v) ethylene glycol and 0,8% (w/v) SLS

The temperature has a significant effect on the rate of copper extraction. At the lowest temperature of 25°C, copper recovery reached only 14% after 30 minutes and gradually increased to 27% after 210 minutes. When the temperature is increased to 50°C, copper recovery improves markedly. After 30 minutes, recovery doubles to 28%, and by 120 minutes, it reaches 49%, more than double the recovery at the same time point for 25°C. At the highest temperature tested, 75°C, the copper recovery is even more pronounced. After just 30 minutes, recovery is 39%, which is nearly three times higher than at 25°C. By 120 minutes, copper recovery reaches 78%, and it continues to increase slightly to 84% by 210 minutes.

Thus, the following optimal conditions for copper leaching from chalcopyrite were found: 1,0 M of glycolic acid, 20% (v/v) ethylene glycol, 0,8% (w/v) SLS, 75°C. These conditions provide up to 85% copper in solution.

#### *Proposed leaching mechanism*

The proposed mechanism for copper recovery from chalcopyrite (CuFeS<sub>2</sub>) consists of several crucial steps that depend on the synergistic interaction of glycolic acid, sodium lauryl sulfate (SLS), ethylene glycol, and temperature. Glycolic acid serves as the primary leaching agent, breaking the Cu-S bonds in chalcopyrite and facilitating the release of Cu<sup>2+</sup> ions into the solution:



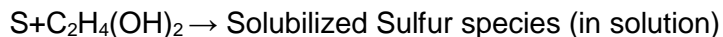
These copper ions are then stabilized by forming complexes with glycolic acid, which prevents their reprecipitation as insoluble compounds and enhances the efficiency of the leaching process.

SLS plays a crucial role as a surfactant, reducing the surface tension of the leaching solution. This reduction in surface tension improves the penetration of the leaching solution into the chalcopyrite matrix and disrupts the formation of passivating sulfur layers that can hinder the leaching process. SLS molecules adsorb onto the surface of the mineral, enhancing the accessibility of the leaching agents to the chalcopyrite, thereby improving copper recovery efficiency:

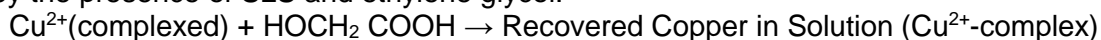


Ethylene glycol, employed as a solvent modifier, further improves the leaching process by preventing the formation of continuous sulfur layers, thereby facilitating more effective copper extraction, that might otherwise passivate the mineral surface and impede further leaching. Ethylene

glycol also increases the solubility of hydrophobic sulfur species, preventing their accumulation on the mineral surface and facilitating more effective copper extraction:



The final step involves the recovery of copper as it remains in solution stabilized by glycolic acid and aided by the presence of SLS and ethylene glycol:



### Conclusions

This work presents the efficiency of the «Glycolic acid – Ethylene glycol – Sodium lauryl sulfate» system for copper recovery from chalcopyrite. The optimal conditions found in this work were 1,0 M glycolic acid, 20% (v/v) ethylene glycol, 0,8% (w/v) SLS, and temperature 75°C; under these conditions, a copper recovery of up to 85% was achieved. Once the concentration of glycolic acid was > 1,0 M, further increases in the concentration resulted in only a small increase in extraction efficiency, and 20% was sufficient for ethylene glycol. The maximum extent of copper was achieved at 75°C for the operating temperature. In the leaching process, the combined action of glycolic acid, which dissolved chalcopyrite and complexed copper ions, SLS, which ruptured the sulfur layer, and ethylene glycol inhibited sulfur precipitation.

### References

1. Moskalyk R.R. Review of copper pyrometallurgical practice: today and tomorrow / R.R. Moskalyk, A.M. Alfantazi // *Minerals Engineering*. – 2003. – № 16(10). – P. 893-919. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2003.08.002>.
2. Strategies for arsenic pollution control from copper pyrometallurgy based on the study of arsenic sources, emission pathways and speciation characterization in copper flash smelting systems / H. Zhou et al // *Environmental Pollution*. – 2021. – № 270. – P. 116203. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116203>.
3. Investigation of heavy metal flows in a copper pyrometallurgical process of a typical smelter / X. Li et al // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2023. – № 174. – P. 214-222. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.03.038>.
4. Recovery of value-added products from copper slag by pyrometallurgy: Transfer and structure of arsenic compounds / X. Wan et al // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2023. – № 11(3). – P. 109868. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109868>.
5. Selective leaching of penalty elements from copper concentrates: A review / D.J. Lane et al // *Minerals Engineering*. – 2023. – № 98. – P. 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.08.006>.
6. Selective impurity removal and Cu upgrading of copper flotation concentrate by a spontaneously oxidative H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> leaching process / W. Fu et al // *Hydrometallurgy*. – 2020. – № 195. – P. 105411. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105411>.
7. Leaching behaviors of copper and arsenic from high-arsenic copper sulfide concentrates by oxygen-rich sulfuric acid leaching at atmospheric pressure / W. Yang et al // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2022. – № 10(2). – P. 107358. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107358>.
8. Copper slag: The leaching behavior of heavy metals and its applicability as a supplementary cementitious material / R. He et al // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2021. – № 9(2). – P. 105132. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105132>.
9. Selective room-temperature leaching of copper from mechanically activated copper smelter slag / L. Mussapyrova et al // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2021. – № 12. – P. 2011-2025. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.090>.
10. Nadirov, R.K. Recovery of valuable metals from copper smelter slag by sulfation roasting / R.K. Nadirov // *Transactions of the Indian Institute of Metals*. – 2019. – № 72(3). – P. 603-607. <https://doi.org/10.1007/s12666-018-1507-5>.
11. Life cycle assessment and cost analysis for copper hydrometallurgy industry in China / Z. Yang et al // *Journal of Environmental Management*. – 2022. – № 309. – P. 114689. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114689>.
12. Recovery of scattered and precious metals from copper anode slime by hydrometallurgy: A review / G. Liu et al // *Hydrometallurgy*. – 2020. – № 197. – P. 105460. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105460>.

13. Barton I.F. Chalcopryrite leaching in novel lixivants / I.F. Barton, J.B. Hiskey // Hydrometallurgy. – 2022. – № 207. – P. 105775. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105775>.
14. O'Connor, G.M. A critical review of the passivation and semiconductor mechanisms of chalcopryrite leaching / G.M. O'Connor, J.J. Eksteen // Minerals Engineering. – 2020. – № 154. – P. 106401. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106401>.
15. Effects of redox potential on chalcopryrite leaching: An overview / Z. Tian et al // Minerals Engineering. – 2021. – № 172. – P. 107135. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107135>.
16. Redox potential-dependent chalcopryrite leaching in acidic ferric chloride solutions: Leaching experiments / N.T.P. Thao et al // Hydrometallurgy. – 2020. – № 194. – P. 105299. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105299>.
17. Enhancing chalcopryrite leaching by tetrachloroethylene-assisted removal of sulphur passivation and the mechanism of jarosite formation / M. Kartal et al // Hydrometallurgy. – 2020. – № 191. – P. 105192. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.105192>.
18. Efficient Copper Recovery from Chalcopryrite Using an «Isopropanol–Sulfuric Acid–Sodium Dodecyl Sulfate» System / B. Kenzhaliyev et al // Minerals. – 2023. – № 13(10). – P. 1346. <https://doi.org/10.3390/min13101346>.
19. Rapid atmospheric leaching of chalcopryrite using a novel reagent of trichloroisocyanuric acid / G. Chen et al // Minerals. – 2021. – № 11(9). – P. 1012. <https://doi.org/10.3390/min11091012>.

### Funding

*This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant no. BR18574006).*

**Б. Кенжалиев<sup>1</sup>, Т. Кетегенов<sup>2</sup>, К. Камунур<sup>2,3</sup>, А. Баткал<sup>2,3\*</sup>, Р. Надиров<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Satbayev University, Институт металлургии и обогащения,  
050010, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Шевченко 29/133,

<sup>2</sup>Институт проблем горения,  
050012, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 172

<sup>3</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби,  
Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71

\*e-mail: abatkalova@mail.ru

### ЭФФЕКТИВНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ ИЗ ХАЛЬКОПИРИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ «ГЛИКОЛЕВАЯ КИСЛОТА – ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ – ЛАУРИЛСУЛЬФАТ НАТРИЯ»

*В настоящем исследовании рассматривается более эффективный и экологически чистый процесс извлечения меди из халькопирита с использованием недавно разработанной системы выщелачивания, содержащей гликолевую кислоту, этиленгликоль и лаурилсульфат натрия (ЛСН). Соответственно, при оптимальных условиях извлечения меди было достигнуто до 85%: 1,0М гликолевой кислоты, 20% этиленгликоля, 0,8% ЛСН и температуре 75°С. Эта гликолевая кислота действует синергически, способствуя разрушению халькопирита и стабилизируя ионы меди в растворе. ЛСН улучшает проникновение раствора за счет разрушения пассивирующего слоя серы; этиленгликоль предотвращает осаждение серы. Из полученных результатов следует, что данная система выщелачивания может быть альтернативой, более устойчивой и эффективной по сравнению с традиционными пирометаллургическими методами обработки, с возможным применением в промышленном процессе извлечения меди.*

**Ключевые слова:** халькопирит; извлечение меди; выщелачивание, гликолевая кислота; этиленгликоль; лаурилсульфат натрия.

**Б. Кенжалиев<sup>1</sup>, Т. Кетегенов<sup>2</sup>, Қ. Қамұнұр<sup>2,3</sup>, А. Батқал<sup>2,3\*</sup>, Р. Надиров<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Satbayev University, Металлургия және кен байыту институты,  
050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Шевченко к-сі 29/133,

<sup>2</sup>Жану проблемалар институты,  
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Бөгенбай батыр к-сі, 172

әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Әл-Фараби даңғылы, 71

\*e-mail: abatkalova@mail.ru

### «ГЛИКОЛЬ ҚЫШҚЫЛЫ – ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ – НАТРИЙ ЛАУРИЛ СУЛЬФАТЫ» ЖҮЙЕСІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ХАЛЬКОПИРИТТЕН МЫСТЫ ТИІМДІ АЛУ

Бұл зерттеу құрамында гликоль қышқылы, этиленгликоль және натрий лаурил сульфаты (НЛС) бар жаңадан әзірленген шаймалау жүйесін пайдалана отырып, халькопириттен мыс алудың тиімдірек және экологиялық таза процесін қарастырады. Тиісінше, мыс алудың оңтайлы жағдайында 85%-ға дейін қол жеткізілді: 1,0 М гликоль қышқылы, 20% этиленгликоль, 0,8% НЛС және 75°C. Бұл гликоль қышқылы синергетикалық әсер етеді, халькопириттің жойылуына ықпал етеді және ерітіндідегі мыс иондарын тұрақтандырады. НЛС күкірттің пассивті қабатын бұзу арқылы ерітіндінің енуін жақсартады; этиленгликоль күкірттің тұнбаға түсуіне жол бермейді. Алынған нәтижелерден, бұл шаймалау жүйесі дәстүрлі пирометаллургиялық өңдеу әдістерімен салыстырғанда неғұрлым тұрақты және тиімді балама бола алады, мыс алудың өнеркәсіптік процесінде қолдануға болады.

**Түйін сөздер:** халькопирит; мыс алу; шаймалау, гликоль қышқылы; этиленгликоль; натрий лаурилсульфаты.

#### Сведения об авторах

**Багдаулет Кенжалиев** – профессор, доктор технических наук, ненеральный директор Института металлургии и обогащения; e-mail: bagdaulet\_k@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>.

**Тлек Кетегенов** – доктор химических наук, заведующий лабораторией механохимических процессов и материаловедения; Институт проблем горения; e-mail: tlek58@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1153-4687>.

**Кастер Камунур** – PhD доктор, ведущий научный сотрудник, Институт проблем горения; e-mail: kamunur.k@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0013-1926>.

**Айсұлу Баткал\*** – PhD студент, научный сотрудник, Институт проблем горения; e-mail: abatkalova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2271-6953>.

**Рашид Надиров** – профессор, генеральный директор, Институт проблем горения; e-mail: nadirov.rashid@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7934-9621>.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Багдаулет Кенжалиев** – профессор, техника ғылымдарының докторы, Металлургия және кен байыту институты бас директоры; e-mail: bagdaulet\_k@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>.

**Тлек Кетегенов** – химия ғылымдарының докторы, «Механохимиялық процестер және материалтану» зертханасының меңгерушісі, Жану проблемалары институты; e-mail: tlek58@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1153-4687>.

**Кастер Камунур** – PhD доктор, жетекші ғылыми қызметкер, Жану проблемалары институты; e-mail: kamunur.k@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0013-1926>.

**Айсұлу Баткал\*** – PhD студент, ғылыми қызметкер, ШЖҚ РМК «Жану проблемалары институты»; e-mail: abatkalova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2271-6953>.

**Рашид Надиров** – профессор, Жану проблемалары институтының бас директоры; e-mail: nadirov.rashid@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7934-9621>.

#### Information about the authors

**Bagdaulet Kenzhaliyev** – Professor, Doctor of Technical Sciences, General Director of Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation; e-mail: bagdaulet\_k@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-8354>.

**Tlek Ketegenov** – Doctor of Chemical Sciences, Head of the Laboratory of «Mechanochemical Processes and Materials Science», Institute of Combustion Problems, e-mail: tlek58@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1153-4687>.

**Kaster Kamunur** – PhD, Senior Researcher, Institute of Combustion Problems; e-mail: kamunur.k@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0013-1926>.

**Aisulu Batkal\*** – PhD student, Researcher, Institute of Combustion Problems; e-mail: abatkalova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2271-6953>.

**Rashid Nadirov** – Professor, General Director of Institute of Combustion Problems, e-mail: nadirov.rashid@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7934-9621>.

Received 05.09.2024

Revised 16.09.2024

Accepted 17.09.2024

**B. Rakhadilov<sup>1</sup>, R. Kussainov<sup>2\*</sup>, Zh. Bakyt<sup>2</sup>, D. Baizhan<sup>2</sup>, N. Kadyrbolat<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Plasma Science LLP,

Ust-Kamenogorsk 070000, Kazakhstan

<sup>2</sup>Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings»,

Shakarim University of Semey, Semey 071412, Kazakhstan

\*e-mail: rinat.k.kus@mail.ru

## **TRIBOLOGICAL AND CORROSION PROPERTIES OF 45 AND 65G STEELS USED IN AGRICULTURAL MACHINERY AFTER ELECTROLYTIC-PLASMA HARDENING**

**Annotation:** *The article examines the effect of electrolytic plasma hardening on the wear resistance and corrosion resistance of steels 45 and 65G, which are used in the production of agricultural machinery components. The presented results demonstrate the improvement of the surface properties of steel through the application of electrolytic plasma hardening. This technology provides rapid heating and cooling, which contributes to the formation of a fine-grained and hardened surface layer, as evidenced by microstructural studies conducted using an optical metallographic microscope. Tribological tests showed an improvement in wear resistance after electrolytic plasma hardening: the wear volume for steel 45 was  $3,03 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$ , and for steel 65G it was  $6,17 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$ , which is 7 and 4,5 times less than the wear volume for the initial samples, respectively. The analysis of polarization curves showed that the corrosion current density decreased compared to the initial sample. For steel samples 45 and 65G after three cycles of electrolytic plasma hardening, the corrosion current densities were  $6,87 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$  and  $1,61 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ , respectively. Additionally, a shift in the corrosion potential towards more positive values was noted, indicating an increase in corrosion resistance. The results of the study demonstrate significant improvements in the tribological and corrosion properties of steels 45 and 65G after electrolytic plasma hardening, providing valuable data for industrial applications.*

**Key words:** *Electrolytic plasma hardening, quenching, steel 45, steel 65G, wear resistance, corrosion resistance, tribology, microstructure.*

### **Introduction**

The working parts of soil cultivation machines undergo significant mechanical and corrosion wear, depending on the operating mode and the type of soil processed, which ultimately leads to considerable financial and material costs. The wear intensity of these working parts is determined by the soil type and depends on its composition of abrasive particles, density, moisture, processing speed, as well as the geometric shape of the working parts and the properties of the materials from which they are made. The soil's ability to cause wear on parts of soil cultivation machines is a primary reason for reducing the operational lifespan of these parts and the machines overall. Global expenditures on corrosion alone amount to approximately 2.5 trillion dollars, equivalent to 3.4% of the gross national product. However, effective methods to enhance corrosion resistance, such as improving the corrosion resistance of part surfaces and timely maintenance, can reduce these costs by 15-35%, amounting to 875 billion dollars annually [1-5].

Working parts for soil processing tools, operated under challenging conditions like deep loosening, continuous plowing of soils with high stone content, etc., are manufactured by modern producers using thick plate rolling of carbon and low-alloy steels with medium and high carbon content, such as grades 45, 70, 65G, 55C2. Most of these undergo preliminary surface or through hardening. Thanks to acceptable qualities such as high impact toughness and elasticity, as well as ease of processing, steels of grades 45 and 65G have gained widespread use in various industrial sectors.

Various methods of surface modification and engineering are used to ensure the necessary level of wear resistance during the manufacture and repair of agricultural machinery parts, differing in technology and the degree of improvement of individual physical, mechanical, and operational characteristics of surface layers [6-9].

The method of electrolytic deposition for working parts of agricultural machinery, including those based on iron, is attractive due to its low energy consumption and has gained widespread use and application in the restoration and hardening of worn parts. This method also has other advantages, including the ability to regulate physical and mechanical properties by changing

electrolysis modes, small allowances for subsequent mechanical processing, no warping of parts, lower raw material consumption, and simple operation. However, iron and its alloy coatings obtained through the electrolytic method have a thin thickness, insufficient adhesion, increased electrolyte temperatures, and low wear resistance [10].

To enhance wear resistance and thereby extend the service life, most working parts are hardened by overlaying with hard alloy materials. This can involve the use of high-alloy cast irons such as PG-S27, PG-US25, PG-FBX-6-2, PR-FMI, PS-14-60. Despite good technological indicators after this hardening, the method itself has a number of disadvantages, including the need to overheat the base metal (steel), leading to an increase in the grains of the microstructure, and in some cases, due to magnetic properties, it is impossible to obtain a layer thicker than 1,6 mm. Moreover, the technology requires expensive equipment and its operation is energy-intensive [11-12].

Electrolytic-plasma hardening (EPH) represents an advanced method for improving the properties of steels, which are widely used in the production of working parts for soil cultivation machinery. This method significantly enhances the wear resistance and corrosion resistance of the material through optimal selection of electrolyte composition and precise adjustment of electrical processing parameters. The EPH process involves exposing the metal to concentrated energy flows in an electrolytic environment, leading to rapid heating and cooling. This promotes the formation of a hardened surface layer with a fine-grained structure, improving the physical and mechanical properties of the steel. It is important to note that the quality and characteristics of the resulting layer largely depend on the composition of the electrolyte, which can include various salts and additives to achieve desired properties.

Research shows that EPH increases the microhardness of steel, enhancing its resistance to wear and corrosion, which is particularly relevant for components operated in aggressive conditions such as agricultural equipment [13-16]. The use of EPH in the agricultural sector could solve the problem of rapid wear of machine working parts subjected to intense abrasive wear. Considering the environmental safety and the possibility of regenerating used electrolytes, this method also contributes to reducing the negative impact of technological processes on the environment.

It is known that the hardening of steels by changing the microstructure also changes the corrosion resistance of steels, which is an integral part of steel quenching, including during EPH. The change in the microstructure of steels 45 and 65G during thermal hardening involves phase transitions of austenite ( $\alpha$ -phase) to martensite ( $\gamma$ -phase) and back ( $\alpha \rightarrow \gamma$ ). This leads to a rearrangement of the crystalline lattice, where iron and carbon atoms redistribute. Properties such as high wear resistance, microhardness, and improved corrosion resistance make steel structures containing martensite desirable for many industrial applications. Numerous studies dedicated to the properties of hardened steels with a martensitic structure, including various technologies, emphasize the improvement of mechanical and corrosion characteristics.

Researchers D.I. Pantelis and others studied the influence of laser hardening on the corrosion resistance of CK60 steel using a CO-laser. The corrosion behavior of samples before and after hardening was assessed in a 3,5% NaCl solution by potentiodynamic polarization. It was found that samples with overlap coefficients of 0 and 9% demonstrated passivation at potentials from – 850 to – 550 mV and – 700 to – 500 mV, respectively, showing increased corrosion resistance compared to untreated samples and those with higher overlap coefficients. This behavior is associated with microstructural changes in the steel during laser processing, where higher overlap coefficients promote the formation of tempered martensite, unlike samples with lower coefficients [17].

In the work of A. Nasery and others, it is mentioned that the dissolution of carbides in the matrix, leading to a more uniform microstructure, is an important factor in reduction [18]. The work by authors Firas M. F. Al-Quran and others also confirms that annealing low-carbon steel after hardening, which results in a martensitic microstructure, improves the steel's corrosion resistance [19].

The positive influence of EPH on the tribological properties of 20GTL steel is dedicated to the work of Rakhadilov B. and others. In the course of the experiment, samples measuring  $10 \times 20 \times 20$  mm<sup>3</sup> were treated in an electrolyte with a 20% concentration of sodium carbonate. At a voltage of 320 V between the anode and cathode, an improvement in wear resistance was noted: the wear volume of samples before EPH was 0.076 mm<sup>3</sup>, and after processing for 2 and 3 seconds it decreased to 0.065 mm<sup>3</sup> and 0.056 mm<sup>3</sup>, respectively. The authors also indicate an increase in ferrite

grains and, conversely, a decrease in perlite grains in the microstructure of the surface of samples after EPH for 2 seconds compared to the original sample. After 3 seconds of EPH processing, the steel structure predominantly contains needle-shaped martensite grains [20].

In the study by Toktarbaev G. and co-authors, the impact of electrolytic plasma hardening on 40KhN steel using electrolytes of various compositions was investigated. After EPH, a hardened layer with high wear resistance was obtained. It was also found that high surface hardness values were achieved using electrolytes containing 15% and 20% urea and 10% sodium carbonate. With these electrolyte contents, the best wear resistance values were also obtained in the "ball-on-disc" test method. Analysis of the microstructure of the cross-section of 40KhN steel after EPH showed the formation of 3 zones: a hardened zone, a thermal impact zone, and the base matrix of the sample. The microstructure profile changed from the hardened zone with a high martensite content to the matrix with a ferrite-pearlite structure [21].

In a recent study on the effect of EPH on the tribological properties of 65G steel, as presented in [22], a 15% sodium carbonate aqueous electrolyte solution was used. The heating of the samples was performed using four different methods, alternating between high, medium, and low voltage, along with the application of thermal cycling. The phase composition analysis revealed the formation of  $\alpha'$ -iron phase and carbide compounds. The tribological test results showed a twofold increase in wear resistance and a 1,7-fold increase in resistance to abrasive wear.

Thus, EPH is a promising technology that can revolutionize steel processing methods, enhancing their operational characteristics and reducing the costs of manufacturing and maintaining agricultural equipment. Further research on wear and corrosion resistance is necessary to optimize processes and fully harness the potential of this technology.

The aim of this article is to systematically investigate the impact of EPH on the structure, tribological properties, and corrosion resistance of steels grades 45 and 65G. Thus, this study contributes to a deeper understanding of the mechanisms underlying this process, as well as to assess its effectiveness and applicability for improving the properties of soil-cultivating parts of agricultural equipment.

### Materials and Methods

To conduct the EPU, samples of steels 45 and 65G measuring 15x15x20 mm were prepared. The surfaces of the samples were cleaned of contaminants and oxides manually using sandpaper with gradually increasing grit from P60 to P2500. The samples were polished to achieve a smooth and even surface using GOI polishing paste, which is a polishing compound based on hard abrasive chromium oxide (III) powder. The surfaces of the samples were also treated until they were uniform and free of visible defects, and no scratches should be visible under x100 magnification with an optical microscope. The chemical composition of steels grades 45 and 65G is shown in Figure 1.

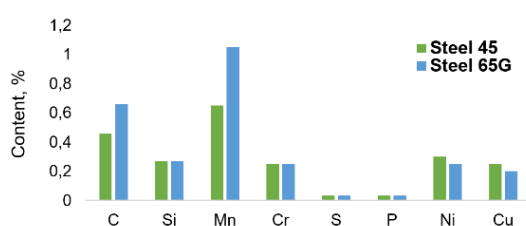


Figure 1 - Chemical composition of steels grades 45 and 65G, excluding iron

The chemical composition significantly influences the EPH process for steels grades 45 and 65G. Steel 45 contains a low amount of carbon, while steel 65G has a higher carbon content. The high carbon content in steel 65G contributes to the formation of harder and more brittle phases after thermal treatment at lower temperatures (carbon promotes the formation of carbon-rich phases, such as martensite), which can affect the mechanical properties [23]. Also, steel 65G features improved hardenability, which facilitates the quenching process. This indicator depends on the minimum cooling rate necessary to prevent the decomposition of austenite into a ferrite-carbide mixture, influenced by the alloy composition.

EPH, as mentioned above, is based on the use of electrolytic plasma for thermal treatment of the material's surface, followed by rapid cooling in the electrolyte medium, improving its hardness, wear resistance, and other characteristics. EPH was conducted in cathodic mode on a setup that includes a 50 kW constant current power source, an electrolytic bath, a pump, and a conical stainless

steel anode. The cathode is the test sample made of steels grades 45 and 65G. The anode, made from a hollow stainless cone without a base, receives electrolyte, which overflows into the electrolytic bath. The sample is submerged in the electrolyte on the surface of the cone. Circulation of the electrolyte is ensured by an electric pump, and the flow rate of the electrolyte to the cone-anode is regulated by adjusting the proportion of flow into the anode-cone and the return feed into the electrolytic bath. Voltage from the power supply is applied between the anode and cathode, creating conditions for the hardening process.

Samples of steels grades 45 and 65G are submerged in the electrolyte in the cavity of the anode to a depth of 2-3 mm, and the application of constant current causes plasma formation on the surface of the samples, initiating the heating process to the austenitization temperature. After the electric current is switched off, the sample cools with the circulating electrolyte solution, resulting in the quenching of the steel. The plasma impact and subsequent cooling of the material surface by the electrolyte lead to changes in its structure, improving mechanical properties. During the EPH process, it is important to control parameters such as processing time, electrolyte temperature, and voltage to ensure optimal material hardening conditions. The appearance of the setup for conducting the EPH process is shown in Figure 2.



Figure 2 – External view of the EPH setup

Electrolytic plasma hardening of steel samples was conducted at the Engineering Center «Hardening Technologies and Coatings», Shakarim University of Semey, Kazakhstan.

Tribological tests were performed using an Anton Paar TRB3 tribometer with a «ball-on-disc» scheme. The test parameters included a wear radius of 3 mm, a friction path of 60 mm, a sample rotation speed of 2 cm/s, and a load of 6 N. A 6 mm diameter ball made of 100Cr6 material was used as the counterpart.

The wear volume of the steels before and after EPH was measured using a HY2300 profilometer. This device is equipped with a diamond probe, allowing for high measurement accuracy with a resolution up to 0,001  $\mu\text{m}$ .

The corrosion resistance testing of the samples was conducted at a temperature of  $\pm 25^\circ\text{C}$  using a potentiodynamic method on a CS300M potentiostat/galvanostat with a 3% NaCl solution. A protective coating was applied to the analyzed area. It is crucial that the tested samples have identical analysis areas, ensuring consistent comparison of the results obtained during potentiodynamic studies. In one cell, the reference electrode with a constant potential is a silver chloride electrode, while in the second cell, the auxiliary electrode is a platinum electrode, and the working electrode is the test samples of 45 and 65G steel with a surface area of 1  $\text{cm}^2$  (figure 3). The cells are connected by a salt bridge, sealed on both sides with filter paper to prevent mixing of the NaCl-filled solutions. Before conducting the tests, the test samples undergo preliminary preparation, which includes cleaning and degreasing using ethanol. The CS Studio6 software is used to determine the potential values, current density, corrosion rate, and Tafel slopes ( $b_a$ ,  $b_c$ ). The graphs obtained during the analysis are presented in logarithmic form (current density is logarithmic).

Optical images were obtained using a trinocular inverted metallographic microscope HL-102AW with a 3.0 MP digital camera and analysis software. This type of microscope has specific technical characteristics and capabilities that allow for more detailed and precise observations of the structure of metallic samples.

Experimental studies on the EPH of samples from steels grades 45 and 65G were conducted using a thermocyclic regime, which involves alternating high ( $U_H$ ) and low voltages ( $U_L$ ). This method allows for control of the heating process, avoiding the melting of the steel and ensuring the formation of a hardened layer with greater depth. The electrolyte for EPH consisted of 20% sodium carbonate and 80% distilled water. The anode area was 0,05  $\text{m}^2$ , and the electrolyte flow rate was 100 liters per minute. Details of the EPH regime parameters are detailed in Table 1.



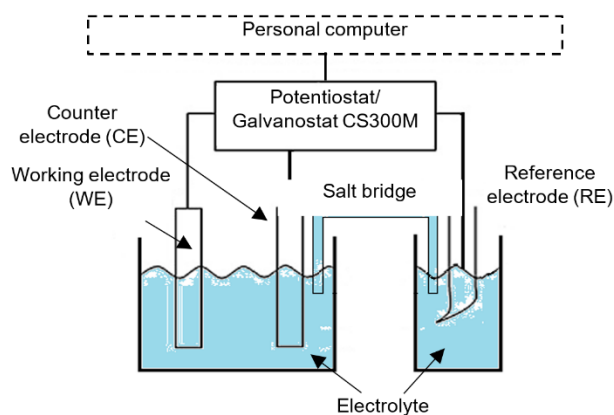


Figure 3 – Wiring diagram of the three-electrode electrochemical cell and potentiostat/galvanostat

Table 1 – Parameters of EPH modes for steels 45 and 65G

Sample	$U_{H1}$ , V	$t_{H1}$ , s	$I_{H1}$ , A	$U_{L1}$ , V	$t_{L1}$ , s	$U_{H2}$ , V	$t_{H2}$ , s	$I_{H2}$ , A	$U_{L2}$ , V	$t_{L2}$ , s	$U_{H3}$ , V	$t_{H3}$ , s	$I_{H3}$ , A
Steel 45													
45_1	320	3	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45_2	320	3	100	50	5	200	2	75	0	0	0	0	0
45_3	320	3	100	50	5	200	2	75	50	5	200	2	75
Steel 65G													
65G_1	320	3	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
65G_2	320	3	100	50	5	200	2	75	0	0	0	0	0
65G_3	320	3	100	50	5	200	2	75	50	5	200	2	75

### Results and Discussion

Figure 4 illustrates the microstructural changes in steels grades 45 and 65G before and after EPH. The initial structures of both steels consist of ferrite and pearlite, typical for medium and high-carbon steels that have not undergone intensive heat treatments. After the EPH procedure, the microstructure of steel 45 transforms into martensite. This is explained by the high temperatures and rapid cooling during the EPH process, which correspond to quenching conditions. Martensite forms as a result of the instantaneous transformation of austenite, which occurs during rapid cooling, not allowing carbon sufficient time to diffuse, leading to the formation of a supersaturated solution of carbon in iron.

In the case of steel 65G, the microstructural changes after EPH are characterized by the formation of fine-grained pearlite. This can be explained by the chemical composition of the steel, which may facilitate the slow release of carbon and a more gradual transition from austenite to pearlite.

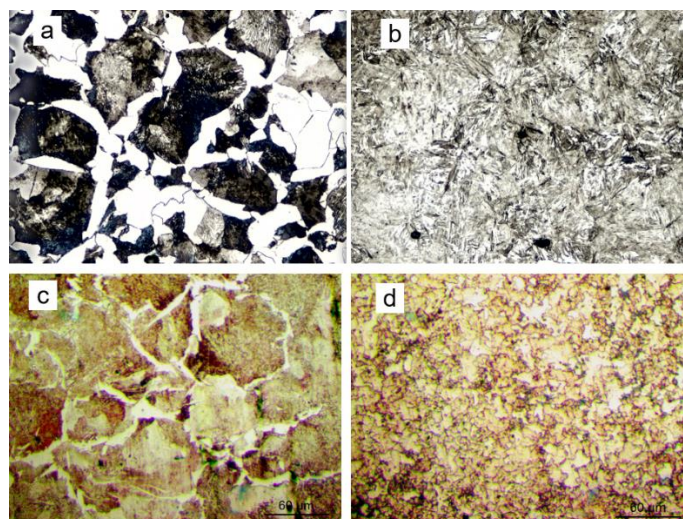


Figure 4 – Optical microphotographs of sample surfaces ( $\times 50$ ):  
a – Steel 45 before EPH, b – Steel 45 after EPH, c – Steel 65G before EPH,  
d – Steel 65G after EPH

The tribological tests on wear volume have revealed a reduction in wear volumes for both 45 steel samples and 65G steel samples after EPH. For 45 steel, the wear volumes after hardening 1, 2, and 3 cycles of thermocycled EPH were respectively  $1,11 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$ ,  $4,41 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$ , and  $4,19 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$ . It is noticeable that with increasing cycles, the wear resistance improves, and for the sample 45\_3, this indicator improved 7 times compared to the initial sample with a wear volume of  $3,03 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$ . Similar indicators were obtained for 65G steel samples after thermocycled EPH, where the measurements of wear volume showed close values for samples 65G\_1 and 65G\_2. The most significant improvement in wear resistance was also noted in the sample that underwent EPH for 3 cycles, with a wear volume of  $6.17 \times 10^{-5} \text{ mm}^3$ , which is 4.5 times lower than the initial sample. The results on wear volumes before and after EPH for samples made from 45 and 65G steels are presented in Figure 5.

The reasons for the increase in wear resistance are the formation of a stronger and more stable surface structure, consisting of martensite. The plasma flow and electrolytic reactions contribute to the formation of solid solutions and dispersion particles on the steel surface, which increases its hardness and resistance to wear [24]. These wear volume data demonstrate the effectiveness of EPH technologies in enhancing the wear resistance of these types of steel, which is important for their application in conditions requiring increased durability and wear resistance.

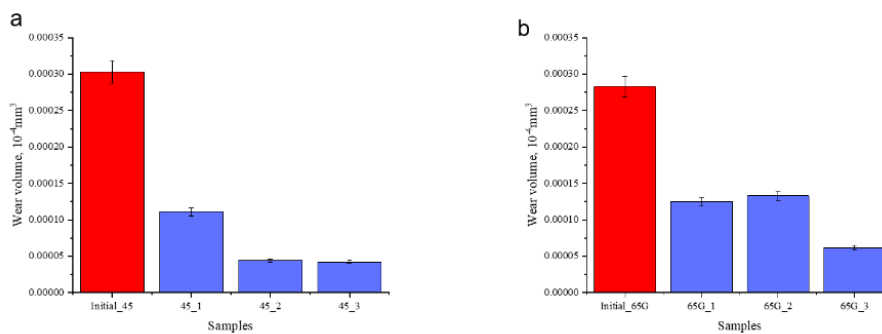


Figure 5 – Wear volume of: a – samples made of steel grade 45 before and after EPH, b – samples made of steel grade 65G before and after EPH

Figure 6 shows the polarization curves in potential-current density coordinates (E – j) for corrosion measurement of 45 and 65G steel grades before and after electrolytic plasma hardening. The corrosion resistance test showed a significant reduction in corrosion rate after electrolytic plasma hardening of 45 and 65G steels. The analysis of the polarization curves, which show the dependence of corrosion potential on corrosion current, confirms that the corrosion potential for samples 45\_3 and 65G\_3 shifted to a more positive direction, and the corrosion current density decreased compared to the initial sample.

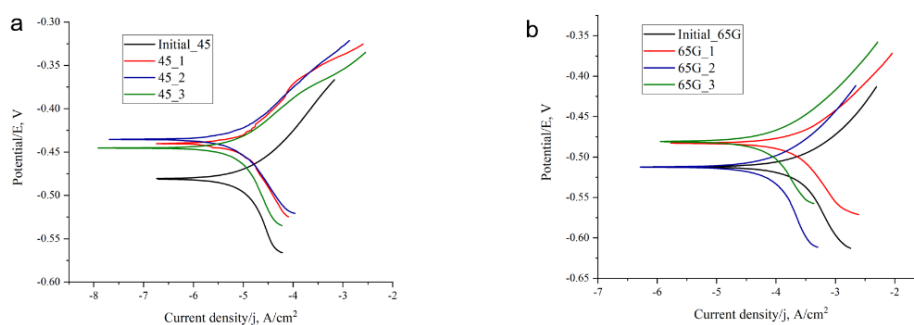


Figure 6 – Potentiodynamic polarization curves: a – for steels 45 before and after EPH, and b – for steels 65G before and after EPH

The corrosion rate measurements showed that for samples 45\_1 and 65G\_1, the reduction in corrosion rate was less pronounced. For samples 45\_2, 45\_3 and 65G\_2, 65G\_3, the average corrosion rate was  $2.49 \times 10^{-4} \text{ mm/year}$ , which is 7 times less compared to the initial sample, indicating increased corrosion resistance of the samples after EPH in 2 and 3 cycles.

## Conclusion

The study of the influence of EPH on samples of 45 and 65G steel has led to several important conclusions. The martensitic transformation facilitated by EPH demonstrated great potential in improving the structural properties of these steels. This transformation process not only enhanced the mechanical characteristics of the material but also positively affected its corrosion properties. Wear resistance tests on 45 steel showed a 7-fold improvement: the wear volume after treatment decreased to  $3.03 \times 10^{-4}$  mm<sup>3</sup>. Similarly, for 65G steel, the wear volume decreased by 4.5 times to  $6.17 \times 10^{-5}$  mm<sup>3</sup> compared to the initial sample. Additionally, the resistance of these steels to electrochemical corrosion has increased, which is crucial for components used in aggressive environments. The analysis of the polarization curves shows that the corrosion current density has decreased compared to the initial sample. For the 45\_3 sample, the corrosion current density was  $6.87 \times 10^{-6}$  A/cm<sup>2</sup>, and for the 65G\_3 sample, it was  $1.61 \times 10^{-7}$  A/cm<sup>2</sup>. There is also a shift in the corrosion potential to a more positive value, which further indicates improved corrosion resistance. The results demonstrate the formation of new phases in the surface layers after EPH, which enhances wear resistance, tribological characteristics, and corrosion resistance of 45 and 65G steels. Future studies will continue to explore the influence of various technological parameters on other properties of steels, which has significant practical importance for increasing the durability and efficiency of steel structures.

## References

1. Bartenev I.M. Iznashivayushchaya sposobnost' pochv i ee vliyanie na dolgovechnost' rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin / I.M. Bartenev, E.V. Pozdnyakov // Lesotekhnicheskij zhurnal. – 2013. – № 3(11). – S. 114-123. (In Russian).
2. Uspenskij I.A. Zashchita sel'skohozyajstvennoj tekhniki ot korrozii i iznosa s primeneniem nanotekhnologij / I.A. Uspenskij, G.K. Rembalovich, T.E. Hrapova // Aktual'nye voprosy transporta i mekhanizacii v sel'skom hozyajstve. – 2023. – S. 205-209. (In Russian).
3. Mamed"yarova I.F. Korroziya stali v pochve / Mamed"yarova I.F., Selimhanova D.G. // Azerbaijan Chemical Journal. – 2014. – № 2. – S. 82-87. (In Russian).
4. Nasr G.E.M. Agricultural machinery corrosion / G.E.M. Nasr, Z.A. Hamid, M. Refai // Introduction to Corrosion-Basics and Advances. – IntechOpen, 2023. (In English).
5. Fedotov I.D. Klassifikaciya korrozii detalej sel'skohozyajstvennyh mashin / I.D. Fedotov // V mire nauchnyh otkrytij. – 2019. – S. 406-409. (In Russian).
6. Vosstanovlenie sel'skohozyajstvennoj tekhniki i oborudovaniya gal'vanicheskimi pokrytiami na osnove zheleza / S.D. Polishchuk i dr. // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. PA Kostycheva. – 2019. – № 3(43). – S. 130-136. (In Russian).
7. Smotryakov D.A. Iznos strel'chatyh lap pochvoobrabatyvayushchej tekhniki / D.A. Smotryakov // Agrarnye konferencii. – Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya Saratovskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni NI Vavilova. – 2020. – № 5. – S. 27-32. (In Russian).
8. Konyaeva N.I. K obzoru sposobov vosstanovleniya iznoshennyh organov pochvoobrabatyvayushchih mashin / N.I. Konyaeva, N.V. Konyaev // Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii. – 2023. – № 1(46). – S. 60-65. (In Russian).
9. Shkurin I.G. Formirovanie iznosostojkogo pokrytiya na poverhnosti rabochih organov gazotermicheskim napyleniem / I.G. Shkurin, YU.A. SHkurina // Nauchnyj zhurnal molodyh uchenyh. – 2018. – № 3(12). – S. 42-45. (In Russian).
10. Bobanova ZH.I. Iznosostojkie gal'vanicheskie pokrytiya na osnove splavov zheleza / ZH.I. Bobanova, S.P. Sidel'nikova, D.M. Kroitoru // Elektronnaya obrabotka materialov. – 2004. – № 1. – S. 18-24. (In Russian).
11. Novye materialy i tekhnologii naneseniya tverdospлавnyh pokrytij dlya detalej pochvoobrabatyvayushchih mashin / A.YU. Izmajlov i dr. // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. – 2016. – № 2. – S. 66-69. (In Russian).
12. Lyalyakin V.P. Sostoyanie i perspektiva uprochneniya i vosstanovleniya detalej pochvoobrabatyvayushchih mashin svarochno-naplavochnymi metodam / V.P. Lyalyakin, S.A. Solov'ev, V.F. Aulov // Trudy GOSNITI. – 2014. – T. 115. – S. 96-104. (In Russian).

13. Enhancement of wear and corrosion resistance in medium carbon steel by plasma electrolytic nitriding and polishing / S.A. Kusmanov et al. // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2019. – Т. 28. – С. 5425-5432. (In Russian).
14. Anode plasma electrolytic nitrohardening of medium carbon steel / S.A. Kusmanov et al // Surface and Coatings Technology. – 2015. – Т. 269. – P. 308-313. (In English).
15. Malyshev V.N. Oil and gas steels surface hardening investigation by anodic plasma electrolytic treatment / V.N. Malyshev // Chemical Engineering and Processing-Process Intensification. – 2022. – Т. 179. – P. 109055. (In English).
16. Belkin P.N. Plasma electrolytic hardening of steels / P.N. Belkin, S.A. Kusmanov // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2016. – Т. 52. – P. 531-546. (In English).
17. Wear and corrosion resistance of laser surface hardened structural steel / D.I. Pantelis et al // Surface and Coatings Technology. – 2002. – Т. 161, № 2-3. – P. 125-134. (In English).
18. Isfahany A.N. The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behavior of AISI420 martensitic stainless steel / A.N. Isfahany, H. Saghafian, G. Borhani // Journal of alloys and compounds. – 2011. – Т. 509, № 9. – P. 3931-3936. (In English).
19. Al-Quran F.M.F. Effects of the Heat Treatment on Corrosion Resistance and Microhardness of Alloy Steel / F.M.F. Al-Quran, H.I. Al-Itawi // European Journal of Scientific Research. – 2010. – Т. 39, № 2. – P. 251-256. (In English).
20. Rahadilov B.K. Povyshenie iznosostojkosti detalej avtoscepnogo ustrojstva elektrolitno-plazmennoj poverhnostnoj zakalkoj / B.K. Rahadilov, E. Kyzyrhan, L.G. Zhureroва // Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva. – 2016. – № 3. – С. 117-121. (In Russian).
21. Vliyanie elektrolitno-plazmennogo uprochneniya poverhnosti na strukturu i svojstva stali 40HN / G.M. Toktarbaeva i dr. // Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva Uchrediteli: Vostochno-Kazahstanskij tekhnicheskij universitet im. D. Serikbaeva. – 2020. – № 1. – С. 199-204. (In Russian).
22. Investigation of changes in phase composition and tribological properties of 65G steel during electrolyte-plasma hardening / B.K. Rakhadilov et al // Bulletin of the Karaganda University «Physics Series». – 2023. – Т. 111, № 3. – С. 119-127. (In Russian).
23. Functional surface layer strengthening and wear resistance increasing of a low carbon steel by electrolytic-plasma processing / K. Kombayev et al // Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering. – 2022. – Т. 68, № 9. – С. 542-551. (In Russian).
24. Application of electrolytic plasma process in surface improvement of metals: a review / Jumbad V.R. et al // Letters in Applied NanoBioScience. – 2020. – Т. 9, № 3. – С. 1249-1262. (In Russian).

**Б.К. Рахадиллов<sup>1</sup>, Р.К. Кусаинов<sup>2\*</sup>, Ж.Ә. Бақыт<sup>2</sup>, Д.Р. Байжан<sup>2</sup>, Н.Е. Қадырболат<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ЖШС «Plasma Science», Өскемен қ., 070000, Қазақстан

<sup>2</sup>Инжиниринг орталығы «Қатайту технологиялары және жабындар», Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей 071412, Қазақстан

\*e-mail: rinat.k.kus@mail.ru

### **ЭЛЕКТРОЛИТТИК-ПЛАЗМАЛЫҚ ҚАТАЙТУ КЕЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ТЕХНИКАСЫНДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН 45 ЖӘНЕ 65Г БОЛАТТАРЫНЫҢ ТРИБОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КОРРОЗИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ**

*Мақалада ауылшаруашылық техника бөлшектерін өндіруде қолданылатын 45 және 65Г болаттарының тозуға және коррозияға төзімділігіне электролитті-плазмалық шынықтырудың әсері қарастырылған. Келтірілген нәтижелер электролитті-плазмалық шынықтыруды қолдану арқылы болаттың беткі қасиеттерінің жақсарғанын көрсетеді. Бұл технология тез қыздыру мен салқындатуды қамтамасыз етіп, ұсақ түйіршікті және шынықтырылған беткі қабаттың пайда болуына ықпал етеді, бұл оптикалық металлографиялық микроскоппен жүргізілген микроқұрылымдық зерттеулермен расталады. Трибологиялық сынақтар электролитті-плазмалық шынықтырудан кейін тозуға төзімділіктің жақсарғанын көрсетті: 45 болаты үшін тозу көлемі  $3,03 \times 10^{-4}$  мм<sup>3</sup>, ал 65Г болаты үшін  $6,17 \times 10^{-5}$  мм<sup>3</sup> құрады, бұл сәйкесінше бастапқы үлгілерге қарағанда 7 және 4,5 есе аз. Поляризациялық қисықтарды талдау коррозиялық ток тығыздығының бастапқы үлгімен салыстырғанда төмендегенін көрсетті. Электролитті-плазмалық шынықтырудың үш циклі өткізілгеннен кейін 45 және 65Г болат үлгілерінде коррозиялық ток тығыздығы сәйкесінше  $6,87 \times 10^{-6}$  А/см<sup>2</sup> және  $1,61 \times 10^{-7}$  А/см<sup>2</sup> болды. Сондай-ақ, коррозиялық потенциалдың оң мәндерге*

қарай ауысуы байқалып, коррозияға төзімділіктің артқанын көрсетті. Зерттеу нәтижелері 45 және 65Г болаттарының электролитті-плазмалық шынықтырудан кейінгі трибологиялық және коррозиялық қасиеттерінің айтарлықтай жақсарғанын көрсетіп, өндірістік қолдану үшін құнды деректерді ұсынады.

**Түйін сөздер:** Электролиттік-плазмалық қатайту, шынықтыру, болат 45, болат 65Г, тозуға төзімділік, коррозияға төзімділік, трибология, микроқұрылым.

**Б.К. Рахадиллов<sup>1</sup>, Р.К. Кусаинов<sup>2\*</sup>, Ж.Ә. Бақыт<sup>2</sup>, Д.Р. Байжан<sup>2</sup>, Н.Е. Қадырболат<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ТОО «Plasma Science»,

070000, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск,

<sup>2</sup>Инжиниринговый центр «Упрочняющие технологий и покрытия»,

Университет имени Шакарима города Семей,

071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

\*e-mail: rinat.k.kus@mail.ru

## **Трибологические и коррозионные свойства сталей 45 и 65Г, используемых в сельскохозяйственной технике, после электролитно-плазменного упрочнения**

В статье рассмотрено влияние электролитно-плазменного упрочнения на износостойкость и коррозионную стойкость сталей 45 и 65Г, которые используются в производстве деталей сельскохозяйственной техники. Представленные результаты показывают улучшение поверхностных свойств стали за счет использования электролитно-плазменного упрочнения. Данная технология обеспечивает быстрый нагрев и охлаждение, что способствует образованию мелкозернистого и упрочненного поверхностного слоя, о чем свидетельствуют микроструктурные исследования, проведенные с помощью оптического металлографического микроскопа. Трибологические испытания показали улучшение износостойкости после электролитно-плазменного упрочнения: для стали 45 объем износа составил  $3,03 \times 10^{-4}$  мм<sup>3</sup>, а для образца из стали 65Г –  $6,17 \times 10^{-5}$  мм<sup>3</sup>, что соответственно на 7 и 4.5 раза меньше, чем объем износа для исходных образцов. Анализ поляризационных кривых показал, что плотность коррозионного тока уменьшилась по сравнению с исходным образцом. Для образцов сталей 45 и 65 Г после трех циклов электролитно-плазменного упрочнения плотности коррозионного тока составили  $6,87 \times 10^{-6}$  А/см<sup>2</sup> и  $1,61 \times 10^{-7}$  А/см<sup>2</sup> соответственно, также был отмечен сдвиг коррозионного потенциала в сторону более положительных значений, что указывает на увеличение коррозионной стойкости. Результаты исследования демонстрируют значительные улучшения трибологических и коррозионных характеристик сталей 45 и 65Г после электролитно-плазменного упрочнения, что представляет ценные данные для производственного применения.

**Ключевые слова:** Электролитно-плазменное упрочнение, закалка, сталь 45, сталь 65Г, износостойкость, коррозионная стойкость, трибология, микроструктура.

### **Information about the authors**

**Bauyrzhan Korabaevich Rakhadilov** – PhD, Vice-rector on scientific work of Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: rakhadilovb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>.

**Rinat Kussainov\*** – Head of the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», Semey, Kazakhstan; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Zhanel Bakyt** – junior researcher of Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: bakytzhanel@gmail.com

**Daryn Baizhan** – doctoral student of «Technical Physics» Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: daryn.baizhan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-91053129>.

**Nurlat Kadyrbolat** – student of «Heat power engineering» Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: ersinnur44@gmail.com

### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Бауыржан Корабаевич Рахадиллов** – PhD, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің ғылыми жұмыс жөніндегі проректор, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: rakhadilovb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>.

**Ринат Кенжевич Кусаинов\*** – «Қатайту технологиялары және жабындар» Инжиниринг орталығының жетекшісі, Семей қ., Қазақстан; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Жанел Әділжанқызы Бақыт** – «Қатайту технологиялары және жабындар» Инжиниринг орталығының кіші ғылыми қызметкері, Семей қ. Қазақстан; e-mail: bakytzhanel@gmail.com

**Дарын Рашитұлы Байжан** – «Техникалық физика» мамандығының докторанты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан; e-mail: daryn.baizhan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-91053129>.

**Нұрлат Ерболұлы Қадырболат** – «Жылу энергетикасы» мамандығының студенті, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан; e-mail: ersinnur44@gmail.com

#### Сведения об авторах

**Бауыржан Корабаевич Рахадиллов** – PhD, Проректор по научной работе Восточно-Казахстанского университета им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: rakhadilovb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>.

**Ринат Кенжеевич Кусаинов\*** – руководитель Инжинирингового центра «Упрочняющие технологий и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Жанел Әділжанқызы Бақыт** – младший научный сотрудник Инжинирингового центра «Упрочняющие технологий и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: bakytzhanel@gmail.com.

**Дарын Рашитұлы Байжан** – докторант специальности «Техническая физика» Университета имени Шакарима города Семей, Казахстан; e-mail: daryn.baizhan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-91053129>.

**Нұрлат Ерболұлы Қадырболат** – студент специальности «Теплоэнергетика» Университета имени Шакарима города Семей, Казахстан; e-mail: ersinnur44@gmail.com.

Received 04.09.2024

Revised 16.09.2024

Accepted 17.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-49](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-49)



MPHTI: 31.17.15

**А.П. Ауешов<sup>1</sup>, Ч.З. Ескибаева<sup>1</sup>, А.К. Диканбаева<sup>1\*</sup>, К.Т. Арынов<sup>2</sup>, А.М. Тасболтаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,  
160012, Қазақстан Республикасы, Шымкент, Тауке-хан даң. 5

<sup>2</sup>Инновациялық зерттеулер және технология институты,  
3505000, Қазақстан Республикасы, Алматы, Г.Сланов даң.,

\*e-mail: dikanbaeva86@mail.ru

## ХРИЗОТИЛ МЕН КҮКІРТ ҚЫШҚЫЛЫ ЖҮЙЕСІНДЕГІ ӨРЕКЕТТЕСУІНЕ ХРИЗОТИЛ КРИСТАЛДЫҚ ТОРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ӨРЕКШЕЛІГІНІҢ ӨСЕРІ

**Аңдатпа:** Хризотил –  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$  құрамындағы магнийдің мөлшеріне (мөлдік) қатысты есептелген күкірт қышқылының мөлдік стехиометриялық қажетті мөлшерлері (СҚМ) мен хризотил арасындағы өзара әрекеттесулерінің сипаты зерттелді. Құрамында күкірт қышқылының (0-0,3) СҚМ аралығындағы ерітінділерді қолданғанда, ерітіндіге хризотил құрамындағы магнийдің өту мөлшері алынған қышқыл мөлшеріне пропорционалды болатыны көрсетілді. Ерітіндіге магнийдің өту мөлшері, СҚМ (0,3-0,5) аралығында тежелетіні, ал СҚМ (0,5-0,7) аралығында пропорционалдық заңдылық қайта орнағанмен, магнийдің ерітіндіге өту шығымы оның хризотилдегі мөлшерінің 76%-нан аспайтыны анықталды. Қышқылдық ортада, хризотил-асбестен магнийдің еруімен қабаттаса түзілетін поликремний қышқылдары ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) магнийдің ерітіндіге өтуін тежейтін фактор болатындығы көрсетілді.

Хризотил-асбест және күкірт қышқылы жүйесіндегі жүретін өзара әрекеттесулер барысында, хризотилден ерітіндіге өтетін магний мөлшері, оның қабатты құрылымының ерекшеліктеріне байланысты болатыны, өнімдерін химиялық және рентгенофазалық зерттеулер нәтижелерімен түсіндірілді.

Зерттеу нәтижелерінде, құрамы негізінен серпентинит тобының минералдарынан (хризотил, лизардит, антигорит) тұратын, құрылымы жалпы  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$  формуласымен өрнектелетін көп қабатты магнисиликаттардың қышқылдарда еру үрдісі тек осы кезде жүретін қышқылдық-негіздік әрекеттесулер заңдылықтарына ғана емес, сонымен қатар серпентиниттердің кристалдық торын түзетін құрылымдық ерекшеліктеріне де байланысты болатындығы көрсетілді.

**Түйін сөздер:** магнийдің қабатты гидросиликаттары, хризотил-асбест, күкірт қышқылы, стехиометриялық қажетті мөлшер, серпентинит, кристалдық тор.

## Кіріспе

Қазақстанда хризотил-асбест өндірісі саласындағы «Қостанай минералдары» АҚ-ы, қазіргі кезде ресурстарды үнемдеу, шикізатты кешенді қайта өңдеу және негізгі өндірісті диверсификациялау бағыттарында ізденістер жүргізілуде. Мұндағы басты мақсаттарға ғылыми жіне техникалық-экономикалық негізделген техногендік қалдықтардан пайдалы компоненттерді бөліп алудың технологиялық жолдарын іздестіру жатады. Кәсіпорын пайдаланатын «Жітіқара» хризотил-асбест кенорнының серпентиниттік рудаларында орташа 43 мас. % MgO және 45 мас. % SiO<sub>2</sub>, бұлардан басқа да пайдалы элементтер: Fe, Ni, Co, Cr және т.б. бар.

Хризотил-асбест өндірісінің технологиялық ерекшеліктеріне байланысты, оның қалдықтарындағы MgO мөлшері көп өзгере қоймайды. Осыған байланысты, хризотил-асбест өндірісінің қалдықтарын, магний және оның қосылыстарын алу мақсатындағы зерттеулер соңғы кезде, хризотил-асбест кен орындарына ие елдерде көптеп жүргізілуде [1, 2].

Қазақстан, хризотил-асбест өндіретін ірі өндірістік елдер қатарына жатады. Алайда, құрамында 41-43 мас. % MgO бар серпентинитті минералдар мен оларды өңдеу барысында түзілетін қалдықтарды жоғарыда айтылған мақсаттар тұрғысынан зерттелмеген деуге болады [3]. Ал, Қазақстанда магний және магнийдің өндірістік маңызды қосылыстарын (MgO, MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub> және т.б.) алуда негізгі шикізат – доломиттің сапалы кен орны өте аз болуы, осы бағыттағы зерттеулердің маңыздылығын айқындайды.

Белгілі әдебиет көздерінде, серпентиниттер мен серпентинитті өндіріс қалдықтарын магний және оның қосылыстарын алуда қолдану мақсатында көптеген зерттеулер кездеседі [4-16]. Алайда, келтірілген әдістердің өзіндік артықшылықтарымен қатар кемшіліктері де жоқ емес, көпшілігі қышқылдық қайта өңдеу әдісіне арналған деуге болады.

Жұмыстың мақсаты – «Жітіқара» кен орнының серпентиниті мен күкірт қышқылының өзара қосылысуының мақсатын алу мақсатында қолданудың технологиялық мүмкіндіктерін бағалау болып табылады.

## Материалдар мен негізгі әдістер

Зерттеулер, «Қостанай минералдары» АҚ-ның (Қазақстан) А-4-20 маркалы хризотил-асбест (ХА) үлгісімен жүргізілді. Үлгінің 20 г мөлшері ұсақталып, електен өткізілді, оның ішінен эксперимент үшін құрамында бөлшектердің фракциясы <0,14 мм, салмағы 10,0 г мөлшері алынды. Элементтік құрамы салмағы бойынша: 26,6% Mg; 18,8% Si; 2,7% Fe. Магний мен темірдің мөлшері 10,0 г (ХА), сәйкесінше 0,11 моль және 0,005 моль болды. Магний құрамдас хризотил құрамындағы магниймен (Mg(ХА)), Mg(ХА)–H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> жүйесіндегі өзара әрекеттесу үшін күкірт қышқылының стехиометриялық қажетті мөлшері (СҚМ) (1) реакция теңдеуі арқылы есептелді:



Күкірт қышқылының 200 см<sup>3</sup> ерітіндісін дайындау үшін қажетті күкірт қышқылының СҚМ (92% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> «ХТ» маркасынан) мына формулалар бойынша есептелді:

$$M = C \cdot Mr \cdot V \cdot 100 / 92 = C \cdot 21,30 \quad (2)$$

$$V = m / d = C \cdot 21,30 / d \quad (3)$$

мұндағы: m – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (92%) қажетті массасы; C – молярлық концентрация; Mr – молярлық масса, V – көлем, d – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (92%) тығыздығы.

ХА пен күкірт қышқылының өзара әрекеттесуін зерттеу үшін 10г ХА үлгілері дайындалды, әрбір үлгі 0-1,0 СҚМ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> аралығында ерітінділермен күкірт қышқылы бар V=118 мл бөлек-бөлек араластырылып өңделді.

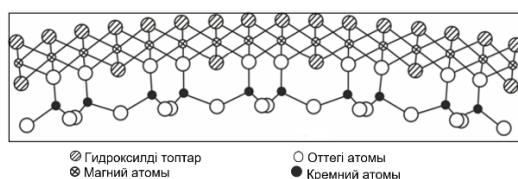
Әрбір жеке алынған ХА (10г) үлгісінің құрамында күкірт қышқылының СҚМ бар сулы ерітіндісімен әрекеттесу процесі Эрленмейердің герметикалық колбасында, суспензия температурасы 95°C үздіксіз араластыра отырып (350 айналым/мин.), 10 минут бойы жүргізілді. Уақыт өткеннен кейін ХА суспензиясы сүзу арқылы (көк сүзгі, қағаз) бөліп алынды. Филтрат және ерімеген қалдыққа, алдын ала (100°C кептіріледі) дайындалғаннан кейінгі химиялық талдау «Электронды растрлі микроскоп JSM-6490» (JOEL, Жапония) комплектіндегі

JNCA Energy 350 энергедисперсиондық микроанализ жүйесінің көмегімен жүргізілді. Реакция ортасының қышқылдығы (pH) иономер И-16 МИ көмегімен өлшенді.

Қышқылда ерімейтін қалдықтың рентгенофазалық зерттеулері DRON-3 дифрактометрінде Cu K мыс катодынан және никель фильрінен сәулелену арқылы жүргізілді. Дифракциялық үлгілер минутына екі градус гониометрлік жылдамдықта бөлме температурасында дифракция максимумдарын ионизациялау арқылы ұнтақ әдісімен алынды. Рентгенограммалардың рефлексстерін интерпретациялау кезінде ASTM картотекасы пайдаланылды.

### Нәтижелер мен талқылау

Хризотил-асбест және күкірт қышқылы өзара әрекеттесулерінің бастапқы кезінде  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$  құрылымының тетраэдрлік-октаэдрлік (1:1) қабаттарында орналасқан магний иондарының бірінші кезекте октаэдрлік бруситтік  $Mg(OH)_2$  қабатша ериді. Ал, бруситтік қабатшадағы магнийдің мөлшері, кристаллдық  $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$  құрамындағы жалпы магнийдің шамамен 1/3 құрайды (1-сурет).

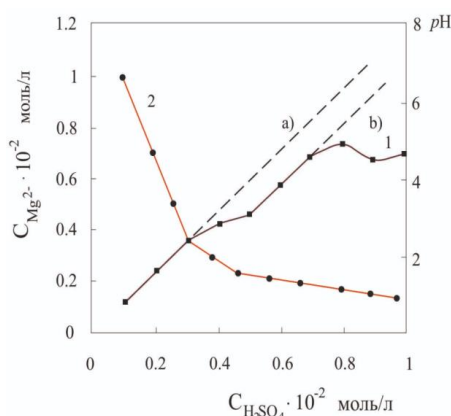


1 сурет – Хризотил-асбест кристалдық торының идеалдандырылған құрылымы [7]

Хризотил-асбест пен күкірт қышқылының арасындағы әрекеттесу, осыған байланысты, күкірт қышқылының 0,3 СҚМ дейінгі концентрациясында мөлшерлік қатынаста жүреді деуге болады, яғни ерітіндіге өткен магний ( $Mg^{2+}$ ) мөлшері, алынған  $H_2SO_4$ -тің мөлшеріне пропорционал болады (2-сурет, 1-қисық). Бұл концентрациялық аралықтағы (0-0,3 СҚМ  $H_2SO_4$  дейінгі) хризотил-асбестің  $H_2SO_4$  ерітінділеріндегі еру процесінің реакциясын төмендегі сипатта көрсетуге болады:



XA-тің  $H_2SO_4$  (0,3 СҚМ) ерітіндідегі еру үрдісінде жүретін реакцияның осы сипатта болатынына ерітіндінің pH-ын (2-сурет, 2- қисық)), оның 0,3 СҚМ-де күрт өзгеруінен де байқауға болады.



2 сурет – Магнийдің XA-тен күкірт қышқылының ерітіндісіндегі мөлшеріне қатысты ерітіндіге өту тәуелділігі (1) мен ортаның pH-ң өзгеруі (2), m (XA)=10г, τ = 10 минут, t = 96°C

Бұдан әрі, әрекеттесуге алынған күкірт қышқылының мөлшерін 0,5 СҚМ-ге жоғарылатқанда, ерітіндіге өтетін магний мөлшерінің  $H_2SO_4$  мөлшеріне қатысты эквиваленттілігі немесе пропорционалдылығы бұзылады, ал 0,5-0,7 СҚМ  $H_2SO_4$  аралығында ерітіндіге бөлінген магний мөлшері қайта көтеріліп, ары қарай 0,7-1,0 СҚМ  $H_2SO_4$  аралығында магнийдің шығымы 76%-дан аспайды, яғни оның шығымына алынған  $H_2SO_4$ -тің мөлшері әсер етпейді. Мұнда, назар аударатын жәйт, ол ерітіндіге өтетін магний иондарының мөлшерінің  $C_{Mg^{2+}} = f(\text{СҚМ } H_2SO_4)$  тәуелділік сызығының (0,1-0,3) СҚМ  $H_2SO_4$  және (0,5-0,7) СҚМ  $H_2SO_4$  аралықтарындағы пропорционалдық бұрыштарының мәндері бір-біріне жақын болады. Бұл

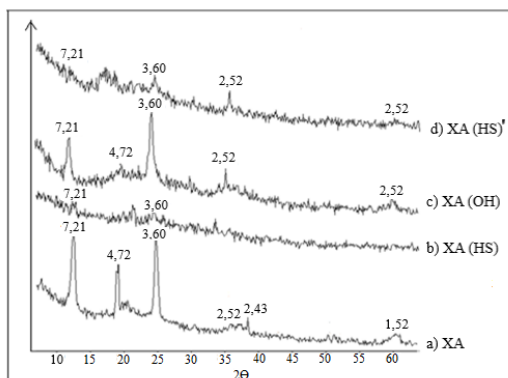


жәйт, күкірт қышқылының осы мөлшерлер аралығында жүретін үрдістер сәйкестігін немесе үрдіс бір қабаттан келесі қабатқа қарай ауысатынын көрсетеді.

ХА және  $H_2SO_4$  (0,1-1,0 СҚМ) жүйелеріндегі өзара әрекеттесу барысындағы магний иондарының ерітіндіге өту мөлшері мен ерітіндідегі рН мәндерінің өзгеру қисықтарын талдау нәтижелері серпентиниттік құрылымдағы магнийсиликаттардың қышқылдарда еру сипаты, олардың құрылымдық құрылысының ерекшеліктеріне байланысты болатындығын көрсетеді.

Хризотил  $[Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8]$  –  $H_2SO_4$  жүйесіндегі өзара әрекеттесудің бастапқы кезінде, хризотилдің октаэдрлік-тетраэдрлік қабатының бруситтік  $[Mg(OH)_2]$  қабатшасы  $H_3O^+$  иондарымен әрекеттесіп ериді. Бұл қабатшадағы магний құрылымдағы жалпы магнийдің шамамен 30% құрайтын болғандықтан, ерітіндіге тек осы шамалас магнийдің өтуі байқалады. Алайда, хризотилдің октаэдрлік-тетраэдрлік құрылымдық қаңқасының бұзылуына және сандық құрамының өзгеруіне байланысты, жүйеде белгілі бір мөлшерде силикаттық сипаттағы иондар пайда болады және олардың мөлшері ерітіндіге өтетін магний иондарының мөлшеріне қатысты өзгеріп отырады. Алынған күкірт қышқылының (0,3-0,7) СҚМ аралығында магнийдің ерітіндіге өтетін мөлшері жоғарыламайды. Бұған себеп, силикаттық сипаттағы иондардан түзілетін кремний қышқылдарының өзара бірігіп, кремнеземді гелге айналатын үрдістерге байланысты болуы мүмкін. Кремнеземді гель, хризотил құрылымындағы беттік қабаттарды бүркемелеп,  $H_3O^+$  иондарының құрылым қабаттарына диффузиялануына кедергі жасайды. Нәтижеде, хризотилдің қышқылда еру жылдамдығы тежеліп, магнийдің ерітіндіге өту жылдамдығы бәсеңдейді. Бұл хризотилдің еру үрдісі, оның беттік қабатында алынған қышқыл мөлшеріне байланысты, белгілі бір мөлшерде кремнеземдік құрылымдардан тұратын қабаттың түзілуімен қатар жүретіндігін көрсетеді. Түзілетін  $SiO_2$  кремнезем формалары мен түрлері ортаның рН-на өте сезімтал және оның дәл күйін іс-жүзінде бағамдау қиын, бірақ оның мөлшері реакцияға түсетін қышқыл мөлшеріне байланысты екендігі анық.

Құрамында (0,5-0,7) СҚМ  $H_2SO_4$  бар ерітінділермен әрекеттесу барысында ерітіндіге өтетін магний мөлшерінің қайта өсуі, еру үрдісі қабат-қабат болып келетін хризотил құрылымында әрекеттесу кезек-кезек, яғни алғашқы қабаттарда әрекеттесулер бітіп, келесі қабаттардың кезегі келгенде байқалуы мүмкін. Күкірт қышқылының (0,7-1,0 СҚМ) бар ерітінділерді қолданған кезде,  $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$  құрылымындағы магнийдің 70%-дан астам мөлшері ерітіндіге өтеді және қышқыл концентрациясын одан әрі жоғарылатқанмен, ерітіндіге өтетін магний мөлшеріне айтарлықтай әсер етпейді. Бұл, реакцияға түсетін хризотил талшықтарының беткі қабаттарында полисиликатты қышқылдардан ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) тұратын  $H_3O^+$  иондарының келесі октаэдрлік-тетраэдрлік қабаттарына терең диффузиялануына жеткілікті кедергі жасай алатын қабат түзілетінін анықтайды, яғни көп қабаттан тұратын құрылымның ішкі қабаттарындағы  $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$  сақталып қалады деген болжамға негіз болды. Болжамды тексеру мақсатында, келесі бағыттағы зерттеу жүргізілді. Күкірт қышқылының 0,9 СҚМ бар ерітіндісімен өңделген қалдықты  $NaOH$  (0,1M) ерітіндісімен үш рет жуғаннан соң, қалған қалдықтың рентгенофазалық талдауы жүргізілді және олар қышқылдық және сілтілік өңдеуден кезек-кезек өңделіп, талдаулар өткізілді. Нәтижелері 3-суретте келтірілген.



3 сурет – Хризотил-асбестті  $H_2SO_4$  (0,9СҚМ) және  $NaOH$  (0,1M) ерітінділерімен кезек-кезек өңдеу барысындағы алынған қалдықтардың дифрактограммаларының өзгерістері:  
 а) ХА – бастапқы хризотил-асбест; б) ХА (HS) – ХА 0,7 СҚМ  $H_2SO_4$  өңделген; в) ХА (OH<sup>-</sup>) – ХА(HS)қайта 0,1M  $NaOH$  өңделген; д) ХА (HS)<sup>1</sup> – ХА(OH) қайта0,7 СҚМ  $H_2SO_4$  қайта өңделген

Суретте бастапқы хризотил-асбестің (ХА), хризотил-асбест күкірт қышқылымен (0,7 СҚМ) өндегеннен кейінгі қалдықтың (НС), сол қалдықты 0,1М NaOH ерітіндісімен қайта өндегеннен кейінгі (ОН<sup>-</sup>) және сілтімен өндегеннен кейінгі қабатты қайта H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ерітіндісімен өндегеннен кейінгі беткі қабаттардың дифрактограммалары берілген. Дифрактограммалардан, бастапқы хризотил-асбесті қышқылмен өндегенде, бастапқыдағы хризотилге тән сипаттамалық рефлексдер:  $d/n (I/I_0) - 7,21 (100); 4,72; 3,60 (80); 2,43 (32)$  [8] беткі қабатты аморфты кремнеземдер түзілуіне байланысты едәуір әлсірейтіні (3сурет, b) байқалады. Осы үлгінің беткі қабатын 0,1М NaOH ерітіндісімен өндегенде, дифрактограммаларда хризотилге тән рефлексдер (3сурет, c) қайта пайда болады. Ары қарай, кезек-кезек қышқылдық және негіздік өңдеулерді қайталағанда, дифрактограммалардағы өзгерістер қайта көрініс табады.

Сонымен, хризотил-асбесті күкірт қышқылының (0,1-1,0) СҚМ өндегенде, ерітіндіге өтетін магний мөлшері, тек алынатын H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> мөлшеріне ғана емес, оның құрылымдық ерекшеліктеріне де байланысты болады, Mg<sub>6</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> кристалдық құрылымы толық дәрежеде сақталып қалады.

### Қорытынды

Хризотил-асбест – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> жүйесіндегі өзара әрекеттесуді зерттеу барысында тәжірибелік түрде анықталған фактілер мен мәліметтер жиынтығы, хризотил Mg<sub>6</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> құрылымының ерекшеліктері, серпентиниттік құрылымдарға ие магнийлі силикаттарын қышқылдық өндеуде жүретін үрдістерді сипаттауда маңызды қорытындылар жасауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері, хризотил – күкірт қышқылы жүйесіндегі әрекеттесулер хризотил құрылымының көп қабатты болуына байланысты, еру жылдамдығы алғашқы қабаттарда жүретін үрдістерден түзілетін поликремний қышқылдардан (SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O) түзілетін қабаттармен тежелетіні анықталды. Хризотил-асбесті қышқылмен (0,1-1,0 СҚМ аралығында) өндегенде, оның бастапқы кристалдық құрылымы сақталатынын көрсетті. Серпентиниттер мен серпентинитті өндіріс қалдықтарынан магний қосылыстарын алуда, күкірт қышқылы ерітінділерінің төменгі концентрацияларын қолданудың тиімділігі көбірек екендігі анықталды.

Бұл зерттеу ҚР ҒБМ ҒК БНҚ (BR21882242) қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды.

### Әдебиеттер тізімі

1. Пат. 2292300 Российская Федерация, МПК С 01 F5/02. Способ переработки серпентинита / Каличенко И.И., Габдуллин А.Н.; заявитель и патентообладатель Калиниченко И.И.; заявл. 13.07.2005; опубл. 27.01.2007.
2. Патент 2953А Республика Армения, МПК С 01 В33/00, С 09 С1/00. Способ комплексной переработки серпентинитов // Сагарунян С.А., Арустамян А.Г., Агамян Э.С., Аракелян А.М., Сагарунян А.С.; опубл. 2014.
3. Aspects of recycling problems in chrysotile asbestos industry / A. Auyeshov et al // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2024. – № 9. – P. 88-98.
4. Патент 29779 Республика Казахстан. Способ комплексной переработки отходов хризотил-асбестового производства // Козлов В.А., Байгенженов О.С., Жусупов К.К., Шевелев В.В.; заявитель и патентообладатель РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан»; заявл. 14.03.2014; опубл. 15.04.2015. Бюл. № 4.
5. Influence of Structural and Molecular Features of Chrysotile on Interaction with in Acid-Chrysotile System / A.K. Dikanbayeva et al // Rasayan J. Chem. – 2022. – Vol. 15. – P. 979-983.
6. Пат. 2285666 Российская Федерация, МПК С 01 F 5/06, С 01 В 33/142. Способ комплексной переработки магний-силикатосодержащего сырья // Григорович М.М., Мельник Л.И., Кузьмина Р.М.; заявл. 20.07.2005; опубл. 20.10.2006.
7. Environmental and Technological Aspects of Acid Treatment of Serpentine Waste from Chrysotile Asbestos Mining and Processing / A.P. Aueshov et al // Int. J. Eng. Res. Technol. – India, 2020. – Vol. 13. – P. 1215-1219.
8. Fouda M.F.R. Extraction of magnesia from Egyptian serpentine ore via reaction with different acids / M.F.R. Fouda, R.E.-S. Amin, M.M. Abd-Elzاهر // I. Reaction with sulfuric acid. Bull. Chem. Soc. Jpn. – 1996. – Vol. 69(7). – P. 1907-1912.
9. Patent for Utility Model RK No.3570. Method for Processing Serpentine // Aueshov, A.P.; Arynov, K.T.; Yeskibaeva, Ch.Z.; Aueshov, A.A.; Ibraeva, A.M.; Alzhanov, K.B.; Satimbekova, A.B., 2 July 2018.

10. Gladikova L. Production of magnesium oxide from solutions formed by acid processing of serpentinite / L. Gladikova, V. Teterin, R. Freidlina // *Russ. J. Appl. Chem.* – 2008. – Vol. 81(5). – P. 889-891.
11. Apostolidis C.I. The kinetics of the sulphuric acid leaching of nickel and magnesium from reduction roasted serpentine / C.I. Apostolidis, P.A. Distin // *Hydrometallurgy.* – 1978. – Vol. 3. – P. 181-196.
12. Transformation of Silicate Ions into Silica under the Influence of Acid on the Structure of Serpentine / A. Auyeshov et al // *Molecules.* – 2024. – Vol. 29. – P. 2502. <https://doi.org/10.3390/molecules29112502>.
13. Nature of serpentinite interactions with lowconcentrationsulfuric acid solutions / C. Yeskibayeva et al // *Green Process. Synth.* – 2024. – Vol. 13, № 1. – P. 20240034. <https://doi.org/10.1515/gps-2024-0034>.
14. Nagamori M. Technico-economic simulation for the HCl-leaching of hybrid serpentine and magnesite feeds / M. Nagamori, J.A. Boivin // *Can. Metall. Q.* – 2001. – Vol. 40(1). – P. 47-60.
15. Production of magnesium hydroxide from magnesium silicate for the purpose of CO<sub>2</sub> mineralization – Part 2: Mg extraction modeling and application to different Mg silicate rocks / E. Nduagu E. Et al // *Miner. Eng.* – 2012. – Vol. 30. – P. 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.12.002>.
16. Taubert L. (2000) Hydrochloric attack of serpentinites: Mg<sup>2+</sup> leaching from serpentinites / L. Taubert // *Magnes. Res.* – 2000. – Vol. 13(3). – P. 167-173.

### References

1. Pat. 2292300 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C 01 F5/02. Sposob pererabotki serpentinita / Kalichenko I.I., Gabdullin A.N.; zayavitel' i patentoobladatel' Kalinichenko I.I.; zayavl. 13.07.2005; opubl. 27.01.2007. (In Russian).
2. Patent 2953A Respublika Armeniya, MPK S 01 V33/00, S 09 S1/00. Sposob kompleksnoi pererabotki serpentinitov // Sagarunyan S.A., Arustamyan A.G., Agamyan E.H.S., Arakelyan A.M., Sagarunyan A.S.; opubl. 2014. (In Russian).
3. Aspects of recycling problems in chrysotile asbestos industry / A. Auyeshov et al // *Mining Informational and Analytical Bulletin.* – 2024. – № 9. – P. 88-98. (In English).
4. Patent 29779 Respublika Kazakhstan. Sposob kompleksnoi pererabotki otkhodov khrizotil-asbestovogo proizvodstva // Kozlov V.A., Baigenzhenov O.S., Zhusupov K.K., Shevelev V.V.; zayavitel' i patentoobladatel' RGP na PKHV «Natsional'nyi tsentr po kompleksnoi pererabotke mineral'nogo syr'ya Respubliki KazakhstaN»; zayavl. 14.03.2014; opubl. 15.04.2015. Byul. № 4. (In Russian).
5. Influence of Structural and Molecular Features of Chrysotile on Interaction with in Acid-Chrysotile System / A.K. Dikanbayeva et al // *Rasayan J. Chem.* – 2022. – Vol. 15. – P. 979-983. (In English).
6. Pat. 2285666 Rossiiskaya Federatsiya, MPK C 01 F 5/06, C 01 B 33/142. Sposob kompleksnoi pererabotki magnii-silikatosoderzhashchego syr'ya // Grigorovich M.M., Mel'nik L.I., Kuz'mina R.M.; zayavl. 20.07.2005; opubl. 20.10.2006. (In Russian).
7. Environmental and Technological Aspects of Acid Treatment of Serpentine Waste from Chrysotile Asbestos Mining and Processing / A.P. Aueshov et al // *Int. J. Eng. Res. Technol.* – India, 2020. – Vol. 13. – P. 1215-1219. (In English).
8. Fouda M.F.R. Extraction of magnesia from Egyptian serpentine ore via reaction with different acids / M.F.R. Fouda, R.E.-S. Amin, M.M. Abd-Elzاهر // I. Reaction with sulfuric acid. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* – 1996. – Vol. 69(7). – P. 1907-1912. (In English).
9. Patent for Utility Model RK No.3570. Method for Processing Serpentine // Aueshov, A.P.; Arynov, K.T.; Yeskibaeva, Ch.Z.; Aueshov, A.A.; Ibraeva, A.M.; Alzhanov, K.B.; Satimbekova, A.B., 2 July 2018. (In English).
10. Gladikova L. Production of magnesium oxide from solutions formed by acid processing of serpentinite / L. Gladikova, V. Teterin, R. Freidlina // *Russ. J. Appl. Chem.* – 2008. – Vol. 81(5). – P. 889-891. (In English).
11. Apostolidis C.I. The kinetics of the sulphuric acid leaching of nickel and magnesium from reduction roasted serpentine / C.I. Apostolidis, P.A. Distin // *Hydrometallurgy.* – 1978. – Vol. 3. – P. 181-196. (In English).

12. Transformation of Silicate Ions into Silica under the Influence of Acid on the Structure of Serpentine / A. Auyeshov et al // *Molecules*. – 2024. – Vol. 29. – R. 2502. <https://doi.org/10.3390/molecules29112502>. (In English).
13. Nature of serpentinite interactions with low concentrations sulfuric acid solutions / S. Yeskibayeva et al // *Green Process. Synth.* – 2024. – Vol. 13, № 1. – P. 20240034. <https://doi.org/10.1515/gps-2024-0034>. (In English).
14. Nagamori M. Technico-economic simulation for the HCl-leaching of hybrid serpentine and magnesite feeds / M. Nagamori, J.A. Boivin // *Can. Metall. Q.* – 2001. – Vol. 40(1). – R. 47-60. (In English).
15. Production of magnesium hydroxide from magnesium silicate for the purpose of CO<sub>2</sub> mineralization – Part 2: Mg extraction modeling and application to different Mg silicate rocks / E. Nduagu E. Et al // *Miner. Eng.* – 2012. – Vol. 30. – R. 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.12.002>. (In English).
16. Taubert L. (2000) Hydrochloric attack of serpentinites: Mg<sup>2+</sup> leaching from serpentinites / L. Taubert // *Magnes. Res.* – 2000. – Vol. 13(3). – R. 167-173. (In English).

**А.П. Ауешов<sup>1</sup>, Ч.З. Ескибаева<sup>1</sup>, А.К. Диканбаева<sup>1\*</sup>, К.Т. Арынов<sup>2</sup>, А.М. Тасболтаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. Ауэзова,  
160012, Республика Казахстан, Шымкент, пр. Тауке-хана, 5  
<sup>2</sup>Институт инновационных исследований и технологии,  
3505000, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Г. Сланова  
\*e-mail: dikanbaeva86@mail.ru

#### **ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КРИСТАЛЛОВ ХРИЗОТИЛА НА ДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ ХРИЗОТИЛ И СЕРНАЯ КИСЛОТА**

*Изучен характер взаимодействий между хризотилем и стехиометрически необходимыми количествами (СНК) серной кислоты, рассчитанными по отношению к количеству (мольный) магния, содержащегося в хризотиле –  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ . Показано, что при использовании растворов, содержащих СНК серной кислоты (0-0,3), количество магния обнаруженного в растворе соответствует пропорциональному количеству использованной кислоты. Установлено, что выход магния в раствор затормаживается в интервале СНК (0,3-0,5). Пропорционально растворение магния восстанавливается в интервале СНК (0,5-0,7) однако, выход магния в раствор не превышает 76% от его содержания в хризотиле из за образования в кислой среде поликремниевой кислоты ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ). Образующиеся на поверхности слой состоящий из поликремниевых кислот является основным фактором, ингибирующим переход магния в раствор.*

*Выявлено, что количество магния переходящего в раствор зависит не только от концентрации кислоты, но и от особенностей слоистой структуры хризотила. Выводы сделаны на основе результатов химических и рентгенофазных исследований продуктов реакций, протекающих при растворении хризотил-асбеста в растворах серной кислоты  $H_2SO_4$ .*

*На основе результатов исследования показано, что растворение магнийсиликатов, состав которых состоят из минералов (хризотил, лизардит, антигорит) группы серпентинита общей формулой –  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$  в кислотах зависит не только от закономерностей протекающих в эти условиях кислотно-основных взаимодействии, но и от особенностей структурного строения кристаллической решетки серпентинита.*

**Ключевые слова:** слоистые гидросиликаты магния, хризотил-асбест, серная кислота, стехиометрический необходимое количество, серпентинит, кристаллические решетки.

**A.P. Auyeshov<sup>1</sup>, Ch.Z. Eskibayeva<sup>1</sup>, A.K. Dikanbayeva<sup>1\*</sup>, K.T. Arynov<sup>2</sup>, A.M. Tasbultayeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>South Kazakhstan University named after Auezova,  
160012, Republic of Kazakhstan, Shymkent, Tauke Khan ave., 5  
<sup>2</sup>Innovation Research and Technological Institute,  
3505000, Republic of Kazakhstan, Almaty, G. Slanova ave.  
\*e-mail: dikanbaeva86@mail.ru

#### **INFLUENCE OF STRUCTURAL FEATURES OF CHRYSOTILE CRYSTALS ON THE ACTION OF THE SYSTEM OF CHRYSOTILE AND SULFURIC ACID**

*The nature of the interactions between chrysotile and stoichiometrically necessary amounts (SNA) of sulfuric acid calculated in relation to the amount (molar) of magnesium contained in chrysotile –  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$  has been studied. It has been shown that when using solutions containing sulfuric acid HCl (0-0.3), the amount of magnesium found in the solution corresponds to a proportional amount of the acid used.*

*It was found that the output of magnesium into the solution slows down in the range of SNA (0.3-0.5). Proportionally, the dissolution of magnesium is restored in the range of SNA (0.5-0.7). However, the yield of magnesium in solution does not exceed 76% of its content in chrysotile due to the formation of polysilicon acid ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) in an acidic medium. The layer formed on the surface consisting of polysilicon acids is the main factor inhibiting the transition of magnesium into solution.*

*It was revealed that the amount of magnesium passing into solution depends not only on the concentration of acid, but also on the density of the layered structure of chrysotile. The conclusions are based on the results of chemical and X-ray phase studies of reaction products occurring during the dissolution of chrysotile asbestos in solutions of sulfuric acid  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .*

*Based on results of the study, it was shown that the dissolution of magnesium silicates, the composition of which of minerals (chrysotile, lizardite, antigorite) of the serpentinite group with the general formula  $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$  in acids depends not only on the patterns of acid-base interactions occurring under these conditions, but also on the structural features of the serpentinite crystal lattice.*

**Key words:** layered magnesium hydrosilicates, chrysotile asbestos, sulfuric acid, stoichiometric required amount, serpentinite, crystal lattices.

#### Авторлар туралы мәліметтер

**Абдразах Пернебаевич Ауешов** – Техника ғылымдарының докторы, профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан; e-mail: centersapa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3504-9117>.

**Кажымукан Токтиярович Арынов** – Техника ғылымдарының докторы, профессор, Инновациялық зерттеулер және технология институты, Алматы, Қазақстан; e-mail: i\_technology@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1440-8248>.

**Чайзада Зулпухаровна Ескибаева** – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан; e-mail: yeskibayeva@internet.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8049-8851>.

**Айжан Косыбаевна Диканбаева\*** – PhD, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан; e-mail: dikanbaeva86@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9859-5545>.

**Акмаржан Мухановна Тасболтаева** – магистр, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан; e-mail: Akmarzhan\_87@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9011-1313>.

#### Сведения об авторах

**Абдразах Пернебаевич Ауешов** – доктор технических наук, профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан; e-mail: centersapa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3504-9117>.

**Кажымукан Токтиярович Арынов** – доктор технических наук, профессор, Институт инновационных исследований и технологии, Алматы, Казахстан; e-mail: i\_technology@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1440-8248>.

**Чайзада Зулпухаровна Ескибаева** – кандидат технических наук, доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан; e-mail: yeskibayeva@internet.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8049-8851>.

**Айжан Косыбаевна Диканбаева\*** – PhD, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан; e-mail: dikanbaeva86@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9859-5545>.

**Акмаржан Мухановна Тасболтаева** – магистр, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан; e-mail: Akmarzhan\_87@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9011-1313>.

#### Information about of authors

**Abdrzak Pernebaevich Auyeshov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: centersapa@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3504-9117>.

**Kazhymuhan Toktiyarovich Arynov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Innovative Research and Technology, Almaty, Kazakhstan; e-mail: i\_technology@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1440-8248>.

**Chaizada Zulpuharovna Yeskibayeva** – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: yeskibayeva@internet.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8049-8851>.

**Aizhan Kosybaevna Dikanbayeva\*** – PhD, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: dikanbaeva86@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9859-5545>.

**Akmarzhan Muhanovna Tasboltayeva** – Master, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan; e-mail: Akmarzhan\_87@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9011-1313>.

Редакцияға енуі 08.07.2024

Өңдеуден кейін түсуі 20.09.2024

Жариялауға қабылданды 24.09.2024

**З.А. Сатбаева<sup>1</sup>, А. Мәуліт<sup>1,2\*</sup>, А. Аманов<sup>3</sup>, А.С. Рүстемов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ТОО «Plasma Science», Восточно-Казахстанская область,  
г. Усть-Каменогорск, ул. Гоголя, 7 Г

<sup>2</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>3</sup>Университет прикладных наук Тампере  
FI-33520, Финляндия, Тампере, Кунтокату 3,

\*e-mail: maulit.almas@gmail.com

## **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА НА МИКРОСТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 45 ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ**

**Аннотация:** В данной работе проведено всестороннее исследование влияния катодного азотирования на структуру и свойства стали 45, обработанной в различных водных электролитах. Анализ, включающий рентгеновские исследования и электронную микроскопию, показал, что азотирование способствует образованию многослойной структуры поверхности, включающей оксидные, нитридные и мартенситные слои. В зависимости от состава использованного электролита, изменения в фазовом составе и толщине модифицированных слоев оказывают значительное влияние на механические свойства стали, что подтверждается различиями в твердости и износостойкости материалов после обработки. В частности, при использовании электролита, содержащего натрий карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ), была достигнута максимальная микротвёрдость в 986 HV, что обусловлено образованием плотного нитридного слоя. В то же время добавление нитратной селитры в электролит, несмотря на некоторое снижение микротвёрдости до 882 HV, способствовало формированию более сложной и стойкой фазовой структуры, включающей дополнительные нитриды и оксиды, что улучшает коррозионную стойкость. Результаты работы подчеркивают значимость оптимизации состава электролита для достижения улучшенных эксплуатационных характеристик стали, таких как твердость, износостойкость и сопротивление коррозии. Проведенное исследование демонстрирует потенциал катодного азотирования как эффективного метода улучшения механических и поверхностных свойств стали 45, что открывает новые возможности для её применения в условиях повышенных нагрузок и агрессивных сред.

**Ключевые слова:** электролитно-плазменное азотирование (ЭПА), нитридный слой, водные электролиты, износостойкость, диффузионное насыщение, поверхностная модификация.

### **Введение**

Электролитно-плазменное азотирование (ЭПА) представляет собой инновационную технологию поверхностного упрочнения, которая сочетает в себе преимущества методов плазменной и электролитической обработки. Этот подход обеспечивает формирование высококачественных азотированных слоев на поверхностях различных сталей, включая среднеуглеродистую сталь 45. ЭПА позволяет достичь значительных улучшений в механических свойствах материалов за счет образования защитных нитридных слоев, повышающих их твердость и износостойкость [1]. ЭПА осуществляется в электролитической ванне, где на поверхность стали воздействует плазменный разряд и электролитический раствор. Под воздействием высокого напряжения в растворе образуется плазма, которая ионизирует азот и способствует его диффузии в поверхность стали. Это позволяет значительно увеличить твердость и износостойкость поверхности материала [2]. Электролитно-плазменное азотирование стало развиваться в конце XX века как модернизированный метод упрочнения поверхностей, превосходящий традиционные технологии. Первоначальные исследования показали высокую эффективность этого метода, что послужило стимулом для дальнейших исследований и усовершенствования процесса, включая оптимизацию его параметров. [3].

Среднеуглеродистая сталь 45, содержащая около 0,45% углерода, является широко используемым материалом в машиностроении благодаря сочетанию прочности и

пластичности. ЭПА позволяет значительно улучшить её поверхностные свойства, такие как твёрдость и износостойкость, что делает этот метод особенно привлекательным для обработки данной стали [4]. Исследования показывают, что в результате ЭПА на поверхности стали 45 образуются азотированные слои с мелкозернистой структурой. Эти слои характеризуются высокой твёрдостью и износостойкостью. Образование нитридов железа и других соединений способствует увеличению твёрдости поверхности [5].

Ключевую роль в формировании структуры и свойств азотированных слоев играют такие параметры процесса, как температура, длительность обработки, состав электролита и приложенное напряжение. Исследования показывают, что правильная настройка и оптимизация этих параметров позволяет значительно улучшить характеристики поверхности стали 45, включая повышение твердости, износостойкости и коррозионной стойкости [6]. По сравнению с традиционными методами, такими как цементация и закалка, ЭПА обладает рядом преимуществ, включая более низкую температуру обработки, меньшие энергетические затраты и возможность точного контроля состава и толщины азотированного слоя. Эти преимущества делают ЭПА привлекательным выбором для промышленного применения [7].

Одним из основных преимуществ ЭПА является значительное увеличение микротвердости стали 45. В ряде исследований показано, что после ЭПА микротвердость поверхностного слоя может достигать 1050-1130 HV, что обусловлено образованием нитридных фаз, таких как  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N и  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>-3N [8,9]. Эти твердые фазы формируются в результате насыщения поверхности стали азотом при высоких температурах, что приводит к повышению сопротивляемости материала механическим нагрузкам [10, 14].

Износостойкость среднеуглеродистой стали 45 значительно возрастает после применения ЭПА. Исследования демонстрируют, что коэффициент трения снижается с 0,61 до 0,52 после обработки, а стойкость к износу увеличивается более чем в 70 раз. [9,15,18]. Это связано с образованием на поверхности стали твердого нитридного слоя, который обеспечивает высокую устойчивость к абразивному износу и снижает скорость износа даже при интенсивных механических нагрузках [11, 21].

Фазовые превращения в процессе ЭПА включают образование нитридов железа ( $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N и  $\epsilon$ -Fe<sub>2</sub>-3N), которые существенно повышают механическую прочность стали и улучшают её устойчивость к термическим воздействиям [14,18,19]. Эти фазовые структуры остаются стабильными даже после последующей термической обработки, что обеспечивает долговечность улучшенных характеристик [10, 16].

Коррозионная стойкость стали 45 после ЭПА значительно повышается за счет образования защитного слоя, состоящего из оксидов и нитридов железа. В исследованиях показано, что плотность коррозионного тока снижается с 23  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  для необработанной стали до 8  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  после ЭПА [8, 9, 20]. Это подтверждает эффективность ЭПА в улучшении коррозионной стойкости стали, что делает её более пригодной для использования в агрессивных средах [12, 17].

Электролитно-плазменное азотирование демонстрирует высокую эффективность в улучшении эксплуатационных характеристик среднеуглеродистой стали 45. Улучшение микротвердости, износостойкости, фазовых превращений и коррозионной стойкости делает ЭПА перспективным методом для использования в различных промышленных применениях. Результаты исследований подтверждают значимость этого метода и его потенциал для дальнейшего развития.

### **Методы**

Для проведения ЭПА были подготовлены образцы из стали 45, размером 15 мм x 15 мм x 10 мм. Перед началом процесса поверхности образцов подверглись предварительной обработке на шлифовально-полировальном станке НУМР-2, уровня Ra  $1,0 \pm 0,1$  мкм. После завершения полировки образцы тщательно промывались проточной водой для удаления остатков абразивных материалов и любых загрязнений.

Эксперимент проводился на установке для ЭПА, оснащенной выпрямителем постоянного тока мощностью 40 кВт и специализированной камерой обработки, в которой размещен плазмотрон. В ходе эксперимента использовались два типа электролита:

Первый электролит содержал 10% натрий карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), 20% мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) и 70% дистиллированной воды.

Второй электролит включал 10% натрий карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), 15% мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ), 5% аммиачная селитра и 70% дистиллированной воды.

На представленном рисунке 1 представлено схема установки для электролитно-плазменного азотирования стали, где каждый элемент играет ключевую роль в процессе.

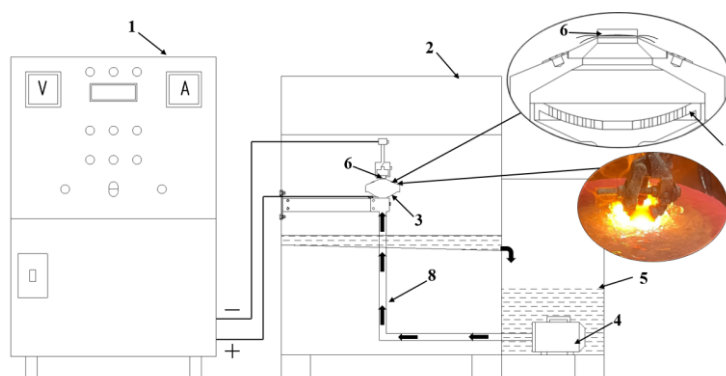


Рисунок 1 – Установка для электролитно-плазменной модификаций

Процесс начинается с подачи напряжения от источника питания (1), который обеспечивает необходимый ток и напряжение для создания электроплазменной дуги. Обрабатываемая деталь (3), погруженная в ванну с электролитом (2), подключена к отрицательному полюсу источника питания. Электролит, циркулирующий в системе с помощью насоса (4), представляет собой водный раствор, содержащий ионы азота, которые необходимы для формирования нитридных слоев на поверхности стали.

При подаче напряжения между деталью и электролитом создается электрическая дуга (5), которая ионизирует газ вблизи поверхности детали, формируя плазму. В процессе плазменного разряда азот из электролита проникает в поверхность стали, образуя нитриды, что значительно увеличивает твердость и коррозионную стойкость материала. Форсунки (6) обеспечивают подачу электролита к обрабатываемой поверхности, что способствует равномерному азотированию.

Эта технология позволяет получать улучшенные эксплуатационные свойства стальных изделий, такие как повышенная износостойкость и улучшенная коррозионная стойкость, что делает ее востребованной в промышленности.

Рентгенофазовый анализ осуществлялся с использованием устройства Xpert PRO PANalytical. В ходе эксперимента на медный анод подавались напряжение 40 кВ и ток 30 мА. Исследование проводилось с использованием  $\text{Cu-K}\alpha$  излучения ( $\lambda = 1,541 \text{ \AA}$ ) в диапазоне от 30 до 100 градусов с шагом 0,02 градуса и временем счета 0,5 секунды на шаг. Фазовый анализ по полученным дифрактограммам проводился с применением программного обеспечения HighScore Plus. Подготовка образцов, выбор условий съемки и обработка дифрактограмм выполнялись в соответствии с методиками, подробно изложенными в источнике [23].

Морфология поверхности и структура модифицированного поверхностного слоя изучались с использованием оптического металлографического микроскопа OLYMPUS BX53M (Olympus Corporation, Токио, Япония). Для наблюдения структуры поперечного сечения образцов после травления 3% азотной кислоты использовали сканирующей электронной микроскоп TESCAN MIRA3 LMN (TESCAN, Брно, Чешская Республика).

Коэффициент трения был определен с помощью универсального трибометра TRB3 (Anton Paar, Австрия) по методу "шар на диске". Испытания проводились в условиях сухого трения, при которых образцы скользили по стальной поверхности контртела со скоростью 0,05 м/с при температуре окружающей среды  $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вертикальная нагрузка на образцы составляла 10 Н, а в качестве материала контртела применялась сталь марки 100Cr6. Измерение коэффициента трения осуществлялось после прохождения образцом пути длиной 60 метров [24].

Измерение микротвердости образцов проводилось с использованием прибора Metolab 502 по методу Виккерса (HV) [25]. Для проведения измерений использовались следующие параметры: нагрузка 10 г и время выдержки 10 секунд. Расчет микротвердости осуществлялся с использованием уравнения Eq 2.



## Результаты и обсуждение

Катодное азотирование стали 45 в различных водных растворах приводит к образованию сложных многослойных структур на поверхности, включающих как оксиды, так и нитриды железа. Рентгеновский анализ показал, что в обоих случаях, представленных на рис. 2, образуются оксидные слои, состоящие из FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, что свидетельствует о высокотемпературном окислении поверхности.

Различия в составе нитридных слоев напрямую зависят от химического состава электролита. При катодном азотировании стали 45 в водном растворе, содержащем 10% карбоната натрия и 20% карбамида (рис. 2b), образуется нитридно-мартенситный слой, состоящий преимущественно из соединений FeN и Fe<sub>4</sub>N. Эти нитридные фазы обеспечивают основную защиту поверхности от коррозии, а также улучшают её механические свойства.

Когда в качестве электролита использовался водный раствор с натрий карбонат, мочевиной и аммиачная селитра (рис. 2a), рентгеновский анализ показал более сложную структуру нитридного слоя, включающую фазы FeN, Fe<sub>3</sub>N и Fe<sub>4</sub>N. Увеличенное содержание нитридов Fe<sub>3</sub>N и FeN может быть связано с добавлением нитрата аммония, который способствует увеличению концентрации азота в поверхностных слоях. Это, в свою очередь, положительно сказывается на механических свойствах и повышает коррозионную стойкость поверхности.

Таким образом, добавление нитрата аммония в состав электролита приводит к формированию более сложного и насыщенного нитридного слоя, что значительно улучшает эксплуатационные характеристики модифицированной поверхности стали 45.

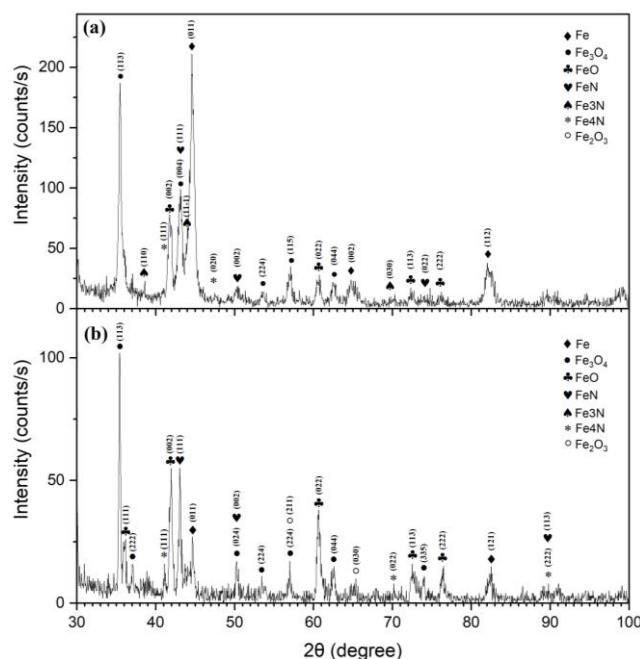


Рисунок 2 – Дифрактограмма поверхностного слоя стали 45 после ЭПА:

a) образец, азотированный в растворе с натрий карбонат (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), мочевиной (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O), аммиачная селитра (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>);

b) образец, азотированный в водном растворе с натрий карбонат (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) и мочевиной (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O)

На предоставленных микроструктурных изображениях (рис. 3) показаны результаты металлографического анализа поверхности стали после процесса ЭПА. Изображения демонстрируют последовательность слоев, образовавшихся в результате обработки. На верхней части изображений (a) и (b) виден тонкий светлый слой, который идентифицируется как оксидный слой. Данный слой формируется в результате высокотемпературного окисления поверхности стали в процессе азотирования. Присутствие оксидных фаз, таких как FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, было подтверждено с помощью рентгеновского анализа, который зафиксировал образование этих оксидов при воздействии высоких температур.

Под оксидным слоем находится темный слой с мелкозернистой структурой, представляющий собой азотированный слой. Этот слой состоит из нитридов железа (FeN, Fe<sub>3</sub>N, Fe<sub>4</sub>N), а также мартенсита, который формируется в результате насыщения поверхности

азотом и последующего охлаждения. Под нитридным слоем можно наблюдать формирование мартенситной структуры, которая образуется в результате проникновения азота на определенную глубину и последующей структурной трансформации под воздействием термической обработки. Мартенситный слой обычно отличается повышенной твердостью по сравнению с исходной структурой, что значительно улучшает механические характеристики материала. Этот слой обеспечивает дополнительную прочность и износостойкость, тем самым увеличивая общую долговечность стали.

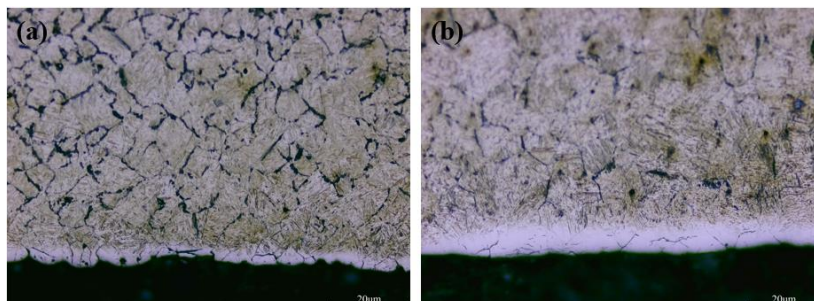


Рисунок 3 – Микроструктура стали 45 после ЭПА:

а) образец, азотированный в растворе с натрий карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ), аммиачная селитра ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ );

б) образец, азотированный в водном растворе с натрий карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ )

Измерение микротвердости стальных слоев после модификации выявило значительные вариации в зависимости от состава использованного электролита. Наибольшая микротвердость, достигнутая в процессе, составила 986 HV и была зафиксирована для слоя, сформированного в электролите, содержащем карбонат натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ). В то время как добавление 5% аммиачной селитры ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) к составу электролита (10% карбоната натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), 15% мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) и 5% аммиачной селитры ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )) привело к некоторому снижению максимальной микротвердости, которая составила 882 HV (см. рис. 4).

Эти различия можно объяснить влиянием состава электролита на процесс формирования модифицированного слоя. Электролит с повышенным содержанием карбамида способствует более интенсивному насыщению поверхности азотом, что приводит к формированию плотных нитридных слоев с увеличенной твердостью. Добавление нитрата аммония в электролит, хотя и повышает содержание азота в слое, может способствовать образованию более толстых оксидных слоев. Эти оксидные слои, несмотря на некоторое снижение общей твердости поверхности, повышают её износостойкость за счет увеличенной плотности и улучшенной адгезии слоев.

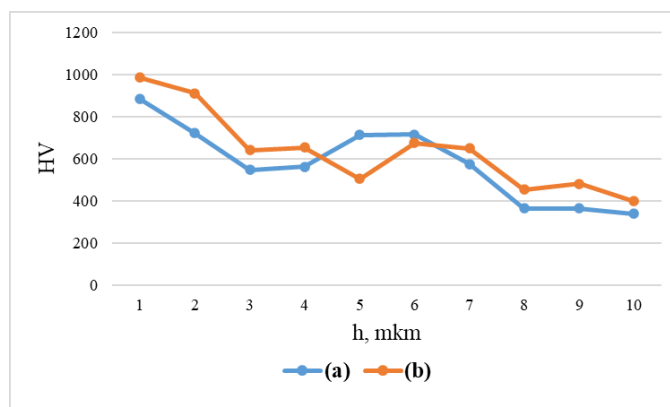


Рисунок 4 – Распределение микротвердости по глубине:

а) образец, азотированный в растворе с натрий карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ), аммиачная селитра ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ );

б) образец, азотированный в водном растворе с натрий карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ )

СЭМ исследование структуры модифицированного слоя стали 45 после азотирования в различных электролитах показало формирование сложной многослойной микроструктуры. Верхний слой, имеющий толщину примерно 10 мкм, представляет собой нитридную зону, которая отличается высокой плотностью и однородностью, что указывает на эффективное насыщение поверхности азотом. В этом слое формируются железные нитриды, такие как Fe<sub>2</sub>-3N, а также наблюдаются оксиды железа, включая Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, что указывает на сопутствующий процесс окисления поверхности. Этот оксидный слой играет важную роль в обеспечении дополнительной защиты от коррозии, хотя его наличие может оказывать влияние на механические свойства поверхности.

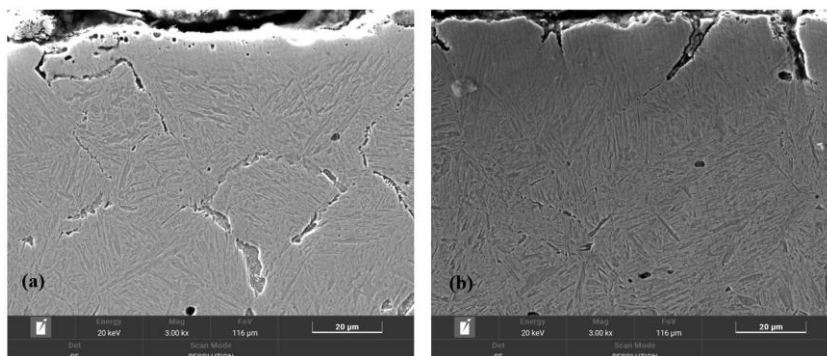


Рисунок 5 – Поперечное сечение азотированной стали 45, полученное с помощью РЭМ:

- а) образец, азотированный в растворе с натрий карбонат (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), мочевиной (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O), аммиачная селитра (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>);
- б) образец, азотированный в водном растворе с натрий карбонат (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) и мочевиной (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O)

Под нитридной зоной образуется нитридно-мартенситный подслоя, который формируется в результате глубокой диффузии азота и его взаимодействия с железом. В этом слое наблюдается грубозернистая структура, состоящая из дисперсных нитридов и мартенсита, что свидетельствует о значительных изменениях в микроструктуре. Присутствие остаточного аустенита указывает на неполное мартенситное превращение, что может быть связано с понижением температуры закалки в условиях присутствия азота.

Глубинные слои, расположенные ниже нитридно-мартенситного подслоя, демонстрируют наличие зерен мартенсита и перлита, что свидетельствует о сохранении элементов первоначальной ферритно-перлитной структуры. Это указывает на то, что процесс азотирования затронул только верхние слои материала, оставив основные структурные элементы исходной стали в неизменном виде.

Неполная закалка, зафиксированная в этих слоях, может быть связана с недостаточной термической обработкой или недостаточным временем воздействия азота на образец, однако даже частичная трансформация структуры способствует улучшению механических свойств стали.

Трибологические испытания показали, что образцы, подвергнутые азотированию в водном растворе карбоната натрия и карбамида, продемонстрировали лучшие результаты: средний коэффициент трения составил 0,248, что почти в два раза ниже по сравнению с исходным образцом, у которого коэффициент трения был 0,51. В то же время, образцы, азотированные в растворе с добавлением нитрата аммония, показали коэффициент трения 0,41, что также свидетельствует о значительном снижении трения по сравнению с необработанными образцами, хотя и не столь эффективно, как при использовании раствора без нитрата аммония.

Так же как видно на рисунке 6 примерно после 3 метра пути исходном образце имеется пик, это объясняется с тем, что исходный образец подвергался стандартному закаливанию. После азотирования поверхность образцов становится менее шероховатой и, а также за счет азотированного слоя коэффициент трения на всем продолжительности пути не сильно меняется и это доказывает что износостойкость образцов.

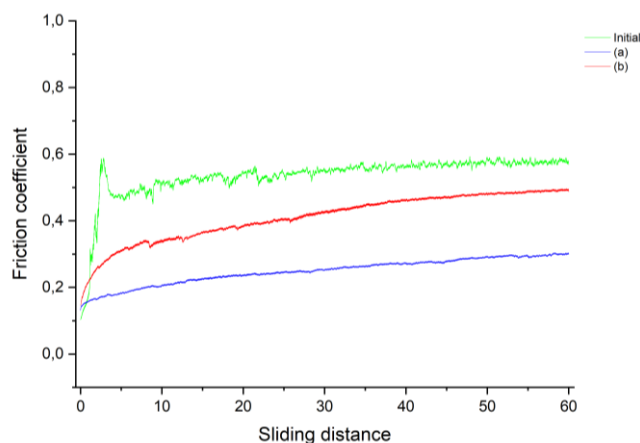


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента трения от пути скольжения для необработанной и азотированной стали 45:

а) образец, азотированный в растворе с натрий карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), мочевиной ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ), аммиачная селитра ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ );

б) образец, азотированный в водном растворе с натрий карбонат ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и мочевиной ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ )

### Вывод

Результаты данного исследования показали, что катодное азотирование стали 45 в водных электролитах с различным составом, приводит к значительным изменениям в микроструктуре и механических свойствах поверхности. Формирование многослойной структуры, включающей оксидный, нитридный и мартенситный подслои, обеспечивает улучшенные эксплуатационные характеристики стали. Исследования показали, что использование электролита, состоящего из 10% карбоната натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и 20% мочевины ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ), способствует формированию плотного нитридного слоя с максимальной микротвёрдостью 986 HV, что значительно улучшает износостойкость поверхности стали. Однако добавление 5% аммиачной селитры ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) в состав электролита приводит к снижению микротвёрдости до 882 HV, но в то же время способствует формированию более сложной фазовой структуры. Эта структура включает дополнительные нитридные и оксидные фазы, которые повышают коррозионную стойкость и долговечность материала. Таким образом, выбор состава электролита и параметров азотирования позволяет точно управлять фазовым составом и микроструктурой стали 45, что расширяет возможности её использования в ответственных узлах и деталях, работающих в условиях высоких механических нагрузок и агрессивных сред. Данное исследование подтверждает, что катодное азотирование является эффективным методом модификации, стали, позволяющим значительно улучшить её эксплуатационные характеристики.

### Список литературы

1. Kumar A. Plasma Electrolytic Nitriding of Steels / A. Kumar, D. Singh // Journal of Surface Engineering. – 2018. – № 34(5). – P. 321-330.
2. Electrolytic Plasma Nitriding: Theory and Practice / A. Ivanov et al / Moscow: Mashinostroenie. – 2010.
3. Brown D. Historical Perspectives on Plasma Nitriding Processes / D. Brown, R. Clark // Materials Performance and Characterization. – 2017. – № 6(4). – P. 245-253.
4. Application of Plasma Nitriding to Medium Carbon Steels / V. Kuznetsov et al // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2016. – № 47. – P. 192-202.
5. Lee C. Microstructure and Properties of Plasma Nitrided Steels / C. Lee, H. Park // Journal of Materials Science and Technology. – 2020. – № 56. – P. 45-53.
6. Microstructural Evolution in Plasma Nitrided Medium Carbon Steel / Y. Zhang et al // Surface and Coatings Technology. – 2021. – № 409. – P. 126891.
7. Thompson R. Formation of Iron Nitrides in Plasma Nitriding / R. Thompson, M. Green // Acta Materialia. – 2018. – № 142. – P. 137-145.
8. Anode plasma electrolytic nitrohardening of medium carbon steel / S.A. Kusmanov et al // Surf. Coat. Technol. – 2015.

9. Improvement of corrosion and wear resistance of 45 steel with anode plasma electrolyte nitriding / A.A. Smirnov et al // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. – 2017.
10. Sliding wear behavior of electrolytic plasma nitrided cast iron and steel / X. Nie et al // Surf. Coat. Technol. – 2005.
11. Feasibility study of aqueous electrolyte plasma nitriding / A. Roy et al // Surface engineering. – 2007.
12. Carburizing of low-melting-point metals by pulsed nanocrystalline plasma electrolytic carburizing / M. Aliofkhaezrai et al // Surf. Coat. Technol. – 2008.
13. Plasma electrolytic surface carburized and hardening of pure iron / M. Tarakci et al // Surf. Coat. Technol. – 2005.
14. Taheri P. A phenomenological model of nanocrystalline coating production using plasma electrolytic saturation (PES) technique / P. Taheri, C. Dehghanian // Transaction B: Mechanical Engineering. – 2009.
15. Aliev M.Kh. Pulsed nanocrystalline plasma electrolytic boriding as a novel method for corrosion protection of CP-Ti / M.Kh. Aliev, A. Sabour // Bull. Mater. Sci. – 2007.
16. "Surface modification of SCM420 steel by plasma electrolytic treatment / J.H. Kong et al // Surf. Coat. Technol. – 2013.
17. Anodic heating in aqueous solutions of electrolytes and its use for treating metal surfaces / P.N. Belkin et al // Surf. Eng. Appl. Electrochem. – 1997.
18. Rakhadilov B. The influence of electrolytic-plasma nitriding on the structure and tribological properties of high-speed steels / B. Rakhadilov, S. urbanbekov, A. Miniyazov // Tribologia. – 2015.
19. Skakov M. Influence of electrolyte plasma treatment on structure, phase composition and microhardness of steel P6M5 / M. Skakov, B. Rakhadilov, M. Sheffler // Key Eng. Mater. – 2013.
20. The effect of ammonia water on the microstructure and performance of plasma electrolytic saturation nitriding layer of 38CrMoAl steel / X.-Z. Hua et al // Phys. Procedia. – 2013.
21. A novel method of surface modification for steel by plasma electrolysis carbonitriding / D.J. Shen et al // Material Science and Engineering A. – 2007.
22. Anodic plasma electrolytic saturation of steels by carbon and nitrogen / B.R. Lazarenko et al // Scientific.net. – 2017.
23. Electrolyte-plasma surface hardening of hollow steel applicator needles for point injection of liquid mineral fertilizers / B. Rakhadilov et al // AIMS Materials Science. – 2024. – № 11(2).
24. Change of structure and mechanical properties of R6M5 steel surface layer at electrolytic-plasma nitriding / M. Skakov et al // Adv Mat Res. – 2014. – № 1040. – P. 753-758.
25. Study on surface hardening and wear resistance of AISI 52100 steel by ultrasonic nanocrystal surface modification and electrolytic plasma surface modification technologies / N. Magazov et al // Materials. – 2023. – № 16. – P. 6824.

### **Информация о финансировании**

*Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP14972599).*

**З.А. Сатбаева<sup>1</sup>, А. Мәуліт<sup>1,2\*</sup>, А. Аманов<sup>3</sup>, А.С. Рүстемов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>«Plasma Science» ЖШС,

Шығыс Қазақстан облысы, Өскемен қаласы, Гоголь көшесі, 7Г

<sup>2</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,

071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

<sup>3</sup>Tampere University of Applied Sciences

Kuntokatu 3, FI-33520 Tampere, Finland

\*e-mail: maulit.almas@gmail.com

### **ЭЛЕКТРОЛИТ ҚҰРАМЫНЫҢ КАТОДТЫ ЭЛЕКТРОЛИТ-ПЛАЗМАЛЫҚ АЗОТТАУДАН КЕЙІН 45 БОЛАТТЫҢ МИКРОҚҰРЫЛЫМЫ МЕН МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ**

*Бұл жұмыста катодты азоттаудың әртүрлі су электролиттерінде өңделген 45 болаттың құрылымы мен қасиеттеріне әсері жан-жақты зерттелді. Рентгендік зерттеулер мен электронды микроскопияны қамтитын талдау азоттау оксид, нитрид және мартенсит қабаттарын қамтитын көп қабатты беткі құрылымның пайда болуына ықпал ететінін көрсетті. Пайдаланылған электролиттің құрамына байланысты өзгертілген қабаттардың фазалық құрамы мен қалыңдығының өзгеруі Болаттың механикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді, бұл*

өңдеуден кейінгі материалдардың қаттылығы мен тозуға төзімділігінің айырмашылығымен расталады. Атап айтқанда, құрамында натрий карбонаты ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) және мочеви́на ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) бар электролитті қолданған кезде 986 HV максималды микроқаттылыққа қол жеткізілді, бұл тығыз нитридті қабаттың пайда болуына байланысты. Сонымен қатар, қосу нитрат электролитке нитраттар, микроқаттылықтың 882 HV дейін төмендеуіне қарамастан, коррозияға төзімділікті жақсартатын қосымша нитридтер мен оксидтерді қамтитын күрделі және тұрақты фазалық құрылымның пайда болуына ықпал етті. Жұмыс нәтижелері Болаттың қаттылығы, тозуға төзімділігі және коррозияға төзімділігі сияқты жақсартылған өнімділігіне қол жеткізу үшін электролит құрамын оңтайландырудың маңыздылығын көрсетеді. Зерттеу 45 Болаттың механикалық және беттік қасиеттерін жақсартудың тиімді әдісі ретінде катодты азоттау әлеуетін көрсетеді, бұл оны жоғары жүктемелер мен агрессивті ортада қолдануға жаңа мүмкіндіктер ашады.

**Түйін сөздер:** электролиттік-плазмалық азоттау (ЭПА), нитрид қабаты, су электролиттері, тозуға төзімділік, диффузиялық қанықтылық, беттік модификация.

**Z.A. Satbayeva<sup>1</sup>, A. Maulit<sup>1, 2\*</sup>, A. Amanov<sup>3</sup>. A.Rustemov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>«Plasma Science» LLP,

East Kazakhstan region, Ust-Kamenogorsk, Gogol str., 7G

<sup>2</sup>Semey Shakarim University,

071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A

<sup>3</sup>Tampere University of Applied Sciences

Kuntokatu 3, FI-33520 Tampere, Finland

\*e-mail: maulit.almas@gmail.com

## THE EFFECT OF THE ELECTROLYTE COMPOSITION ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL 45 AFTER CATHODIC ELECTROLYTE-PLASMA NITRIDING

*This research offers an in-depth exploration of the impact of cathodic nitriding on the structural and mechanical characteristics of 45 steel treated in different aqueous electrolytes. Through a combination of X-ray diffraction and electron microscopy analyses, it was determined that the nitriding process facilitates the development of a multilayered surface structure, which includes oxide, nitride, and martensitic layers. The composition of the electrolyte plays a crucial role in determining the phase composition and thickness of the modified layers, directly influencing the steel's mechanical properties, as reflected by variations in hardness and wear resistance post-treatment. Notably, an electrolyte containing sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) and urea ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) achieved a maximum microhardness of 986 HV due to the formation of a dense nitride layer. On the other hand, introducing ammonium nitrate to the electrolyte, while slightly decreasing the microhardness to 882 HV, resulted in the formation of a more intricate and stable phase structure, including additional nitrides and oxides, which contributed to enhanced corrosion resistance. These findings underscore the critical importance of optimizing electrolyte composition to improve the performance characteristics of steel, such as hardness, wear resistance, and corrosion resistance. This study underscores the effectiveness of cathodic nitriding as a method for significantly enhancing the mechanical and surface properties of 45 steel, thereby expanding its potential for use in high-load and aggressive environments.*

**Key words:** Electrolytic Plasma Nitriding (EPN), Nitride Layer, Aqueous Electrolytes, Wear Resistance, Diffusion Saturation, Surface Modification.

### Сведения об авторах

**Зарина Аскарбековна Сатбаева** – PhD; Руководитель Материаловедческого центра коллективного пользования ТОО «Plasma Science»; e-mail: satbaeva.z@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-2686>.

**Алмасбек Маулит\*** – докторант НАО «Университета имени Шакарима города Семей»; Руководитель технопарка «Shygys Bastau», ВКУ им. С. Аманжолова; e-mail: maulit.almas@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-3222>.

**Ауезхан Аманов** – PhD; Ассоциированный профессор Университет Тампере; e-mail: auezhan.amanov@tuni.fi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8695-7430>.

**Ануар Саятбекұлы Рүстемов** – студент специальности «Техническая физика»; НАО «ВКТУ им. Д.Серикбаева»; инженер ТОО «Plasma Science»; e-mail: anuarrustemovv05@gmail.com

### Авторлар туралы мәліметтер

**Зарина Аскарбековна Сатбаева** – PhD; «Plasma Science» ЖШС ұжымдық қолданыстағы материалтану орталығының басшысы; e-mail: satbaeva.z@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-2686>.

**Алмасбек Мәуліт\*** – «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КЕАҚ докторанты; С. Аманжолов ат. ШҚУ «Shygys Bastau» технопаркінің басшысы; e-mail: maulit.almas@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-3222>.

**Ауезхан Аманов** – PhD; қауымдастырылған профессор Тампере университеті; e-mail: auezhan.amanov@tuni.fi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8695-7430>.

**Ануар Саятбекұлы Рүстемов** – «Техникалық физика» мамандығының студенті; Д. Серікбаев ат. «ШҚТУ» КЕАҚ; «Plasma Science» ЖШС инженері; e-mail: anuarrustemovv05@gmail.com

#### Information about the authors

**Zarina Askarbekovna Satbayeva** – PhD; Head of the Materials Science Center for Collective Use of PlasmaScience LLC; e-mail: satbaeva.z@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7161-2686>.

**Maulit Almasbek\*** – PhD student of the National Joint-Stock Company «Shakarim University of Semey»; Head of the Shygys Bastau Technopark, S. Amanzholov Higher School of Economics; e-mail: maulit.almas@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-3222>.

**Auezhan Amanov** – PhD; Associate Professor, University of Tampere; e-mail: auezhan.amanov@tuni.fi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8695-7430>.

**Anuar Sayatbekovich Rustemov** – student of the specialty «Technical Physics»; NAO «VKTU named after D. Serikbaev»; Engineer of TOO «PlasmaScience»; e-mail: anuarrustemovv05@gmail.com

Поступила в редакцию 23.08.2024

Поступила после доработки 25.09.2024

Принята к публикации 26.09.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-51](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-51)

IRSTI: 31.15.33



**B. Rakhadilov<sup>1</sup>, R. Kussainov<sup>2,\*</sup>, Zh. Bakyt<sup>2</sup>, Ye. Naimankumaruly<sup>2</sup>, R. Kurmangaliev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Plasma Science LLP,

Ust-Kamenogorsk 070000, Kazakhstan

<sup>2</sup>Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings»,

Shakarim University of Semey,

071412, Kazakhstan, Semey

\*e-mail: rinat.k.kus@mail.ru

## APPLICATION OF ELECTROLYTE BASED ON SODIUM CARBONATE FOR ELECTROLYTE-PLASMA SURFACE HARDENING OF STEEL 45

**Abstract:** This article evaluates the electrolyte-plasma hardening (EPH) of steel 45 using an electrolyte based on sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Theoretical foundations of the electrolysis process of a sodium carbonate aqueous solution were studied during the course of the work. The mechanical and tribological properties of 45 steel samples after EPH were studied. It was found that with an electrolyte composition of 20%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  and 80% distilled water, a hardened zone with a thickness of up to 5 mm is formed after EPH. The increase in microhardness reached up to 690 HV, which corresponds to a 3–3.5 times increase compared to the initial state. The results of tribological tests showed that the friction coefficient of steel 45 decreased after EPH, indicating a significant improvement in tribological characteristics compared to the initial value before hardening. Electrochemical tests on the corrosion resistance of steel 45 were also carried out. After EPH, the corrosion rate significantly decreased for steel 45 samples, indicating its highest corrosion resistance.

**Key words:** Electrolyte-plasma hardening, steel 45, structure, wear resistance, microhardness.

### Introduction

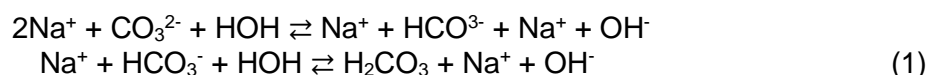
Electrolyte-plasma hardening (EPH) is a promising thermal treatment method that involves applying a plasma discharge to the surface of steel in an electrolyte environment at high temperatures. During EPH, an electrolysis process also occurs, which is an ion exchange reaction between the anode and the cathode. Various surface modifications can be achieved depending on parameters such as electrode size, applied voltage, and electrolyte chemical composition. Due to its simplicity and environmental friendliness, EPH represents a promising technology for surface modification of materials. Several studies have focused on the impact of EPH technology on steel

properties, highlighting its ability to improve surface properties by enhancing hardness, wear resistance, and corrosion resistance [1-4].

During EPH, plasma is generated under the influence of an electric arc, creating a high-temperature environment where physicochemical processes involving ionized gas particles occur. In electrolyte-plasma quenching, the treated material is intensely heated within the vapor-gas shell formed around it, followed by power shutdown and washing with the electrolyte, leading to structural changes in the steel to a certain depth. Additionally, during electrolyte-plasma treatment, besides the thermal impact of plasma on the steel surface, a diffusion saturation process can occur, where ions and electrons penetrate the metal's surface layer, causing changes in its structure and chemical composition. This advantage of EPH allows for the diffusion saturation of steel with atoms of carbon, nitrogen, and boron, and alloying with metals. Due to differences in chemical composition, the depth of plasma penetration may vary for different steels, ultimately affecting the hardening efficiency and uniformity [5-6].

The electrolysis process is influenced by the composition of the electrolyte, the surface area of the cathode and anode, and the cooling rate during electrolyte-plasma quenching. Previous studies have shown that among various electrolyte compositions containing an aqueous solution of sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) at concentrations of 15%, 20%, and 25%, the 20% electrolyte composition provides the best mechanical and tribological properties for steel 45 during EPH.

Sodium carbonate, when interacting with water, dissociates in two stages, leading to the formation of sodium bicarbonate and sodium hydroxide:



This change in ion concentration affects the specific conductivity of the solution, which varies according to a parabolic relationship with a maximum at its peak. This dependence is expressed by the following equation

$$\sigma = \alpha C Z F (u_+ + u_-) \quad (2)$$

where  $\alpha$  is the degree of dissociation,  $C$  is the molar concentration,  $Z$  is the valence,  $F$  is the Faraday constant, and  $u_+$ ,  $u_-$  – are the ionic mobilities of cations and anions, respectively. Equation (2) applies to singly charged ions. The decrease in conductivity at low concentrations is explained by the minimal influence of ions on each other, manifesting through electrophoretic and relaxation effects [7-8]. As ion concentration increases, their interaction becomes more pronounced. However, after reaching a certain concentration of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , the specific conductivity decreases despite the increase in the total number of ions. This occurs because, as ions move in opposite directions, the frictional effect becomes predominant, restricting their free movement. According to equation (2), the specific conductivity of the electrolyte reaches its maximum at a concentration of 30%, with values of  $\sigma = 36,61 \text{ Ом}^{-1} \times \text{см}^{-1}$  for the first stage and  $\sigma = 53,01 \text{ Ом}^{-1} \times \text{см}^{-1}$  for the second stage. As seen from equation (1), more ions are produced during the first stage of hydrolysis, leading to greater mutual influence among them. Upon reaching the second stage of hydrolysis, the free bicarbonate ion binds with a hydrogen ion. As a result, the total number of free ions in the solution decreases, allowing for freer movement of the remaining ions, which in turn increases the specific conductivity. However, in practice, hydrolysis in the second stage occurs either weakly or not at all. In Figure 1, the theoretical values of specific conductivity at a temperature of  $t = 18^\circ\text{C}$  are shown in black. The graph demonstrates that as the maximum point approaches, the rate of conductivity increase diminishes, and further increases in concentration do not lead to significant growth in conductivity. This behavior of electrolyte conductivity with 20%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  content makes this composition optimal for the rapid ignition of plasma within the vapor-gas shell during EPH, which, in turn, ensures efficient and quick heating of the sample.



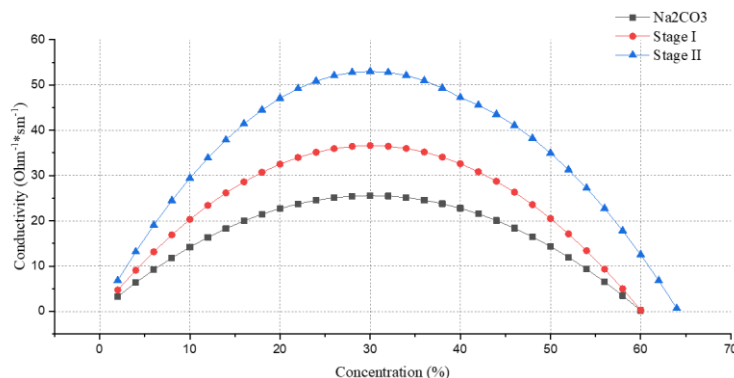


Figure 1 – Dependence of the specific conductivity of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  electrolyte on concentration at two stages of hydrolysis

In the near-electrode zone, the heat balance is maintained by the release of heat flow and its absorption by the metallic electrode and the liquid electrolyte. The sources of the heat flow include the chemical reactions occurring in the system and the heating of the vapor-gas shell according to the Joule-Lenz law:

$$Q = \sum \Delta H_i + \Delta UI, \quad (3)$$

where  $\sum \Delta H_i$  represents the heat flow released during chemical reactions, and  $\Delta U$  is the voltage drop across the vapor-gas shell. It is also noted that the contribution of the heat flow from the Ohmic component is more significant compared to other components of the heat source. This is due to the low conductivity of the vapor-gas shell, which results in a large voltage drop  $\Delta U$  in this section of the electrical circuit: DC power source – anode – electrolyte – vapor-gas shell – cathode. The power generated according to the Joule-Lenz law can vary within the range of 0.1-1 MW/cm<sup>2</sup>. The basic setup of the EPH installation and its simplified electrical circuit are shown in the figure [9-12].

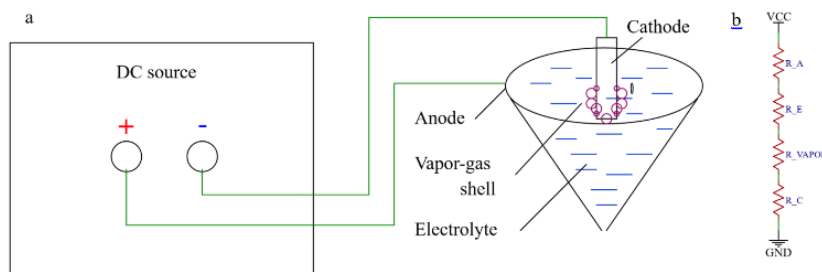


Figure 2 – Schematic diagram of the EPH installation – a; and its simplified electrical circuit – b:  $R_A$  – anode,  $R_E$  – electrolyte,  $R_{VAPOR}$  – vapor-gaseous shell,  $R_C$  – cathode

The  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -based electrolyte also possesses sufficient critical cooling speed, which, combined with the high heat flow, enables thermal hardening of steel. This technology allows for the formation of a surface layer with enhanced mechanical and corrosion properties, while the steel's core retains its original ductility and impact strength. This makes the technology preferable for various applications, including the hardening of working parts of agricultural machinery. Due to the high energy flow, EPH can accelerate the treatment of steel products, unlike induction hardening, which requires much longer processing times, leading to increased costs for the entire technological process. Additionally, during induction hardening, the workpiece must be held very close to the inductor, which becomes more challenging when using high-frequency currents. Another widely used surface hardening technology, flame hardening, can cause deformation of the part during treatment. Although both flame and induction hardening can produce a uniform fine-grained microstructure with good mechanical properties, the aforementioned drawbacks limit their use in some practical applications [13-15].

EPH using an aqueous solution based on  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  is capable of forming not only martensitic phases on the steel surface but also phases of retained austenite and the formation of special carbides, as confirmed by the results of transmission electron microscopy analysis conducted by

Popova N. and others. The EPH process was carried out at a voltage of 320V and a current of 40A, with a heating duration of 4 seconds. The resulting surface layer provides excellent mechanical properties, such as increased hardness and wear resistance [16-17].

In the work by Kenesbekov A. et al., the results of electrolyte-plasma quenching of 40KhN steel using an aqueous Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solution as an electrolyte at a voltage of 200-350 V are presented. The researchers note that after 3 seconds of heating, the microhardness doubled, reaching 440 HV, and the wear resistance increased by 70% compared to the initial sample. Additionally, after EPH, a fine-grained martensitic microstructure with carbide inclusions and retained pearlite formed on the steel surface, which positively affects the improvement of the mechanical properties of the surface [18-19].

In another study [20], the application of a 20% aqueous Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solution for surface EPH of 20GTL steel samples is discussed. The EPH process used direct current with a voltage of 360V and a current of 60A in a flowing electrolyte, with rapid heating in 2-3 seconds. After the power was turned off, the samples were cooled in circulating electrolyte. The results of measurements of the mechanical and tribological properties of the steels also confirm the effectiveness of using Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in EPH: microhardness doubled, and the wear volume decreased by 25% [21].

Thus, it can be said that Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> is an optimal component for the electrolyte in EPH, providing sufficient electrical conductivity and critical cooling rate. Additionally, research shows that EPH is the most economical and efficient method, characterized by low energy consumption, simplicity of technological equipment, large sizes of the hardened zone, high process productivity, less environmental harm, and the ability to harden parts of large mass and complex profile. Consequently, this solves the problem of rapid wear and reduced efficiency of machine components and mechanisms, which is especially important under conditions of increased operational loads [22].

The aim of this work is to evaluate the effectiveness of a Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-based electrolyte in providing optimal conductivity and critical cooling rate during the electrolyte-plasma quenching of steel 45, which are crucial for improving its mechanical and tribological properties. The selection of this material as the subject of the study is justified by its wide application in mechanical engineering and its high mechanical characteristics, such as strength and wear resistance, which can be significantly enhanced through EPH. The results of this study will contribute to the refinement of EPH parameters and provide valuable data on the potential of the technology to extend the service life of heavily loaded machine parts.

### Materials and Methods

Experimental studies and tests were conducted at the Research and Innovation Center for Instrumental and Technological Development of VKU named after S. Amanzholov (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan) and the Engineering Center "Hardening Technologies and Coatings" at Shakarim University in Semey, Kazakhstan.

Steel 45 was selected as the research object. The samples were prepared by grinding and polishing before the experiment. EPH of the samples was carried out using an electrolyte-plasma processing unit [23] under three different regimes, as presented in Table 1. For all samples, an electrolyte consisting of a 20% aqueous solution of Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> was used.

Table 1 – Parameters of electrolytic-plasma hardening of samples made of steel 45

Sample	Anode Area, cm <sup>2</sup>	Voltage during Heating, V	Voltage after Heating, V	Current during Heating, A
№ 1	200	320	0	70
№ 2	500	320	10	100
№ 3	500	320	0	100

**Metallographic analysis** was conducted using an HL-102AW metallographic microscope equipped with a 3.0 MP digital camera and analysis software. For metallographic microanalysis, the samples were etched with a 3% alcohol solution of nitric acid after polishing with chromium oxide paste. Microhardness measurements were performed using a Vickers HV-1 DT hardness tester with a load of 1 N on the indenter and a dwell time of 10 seconds, in accordance with GOST 9450-76.

**Morphology of the treated samples** was studied using a JSM-6390LV scanning electron microscope from JEOL (Japan) with an energy-dispersive microanalysis attachment, INCA Energy, from OXFORD Instruments.

**Tribological tests** were carried out using an Anton Paar TRB3 tribometer following the "ball-on-disk" scheme. Test parameters included a wear radius of 3 mm, a friction path of 60 mm, a sample rotation speed of 2 cm/s, and a load of 6 N. A 100Cr6 material ball with a diameter of 6 mm was used as the counter body.

**Electrochemical analysis** was employed to study the corrosion resistance of the samples during the experiment. The evaluation of corrosion resistance helps determine which type of steel is more resistant to corrosion under specific operating conditions. The electrochemical corrosion study was conducted using a CS300M apparatus, which combines the functions of a potentiostat and galvanostat. An electrochemical cell was used to measure the corrosion rate depending on the potential at the working electrode. For this, the potentiostat was connected to the cell via three different cables: a silver chloride electrode (RE) as the reference electrode, a platinum electrode (CE) as the auxiliary electrode, and the sample (WE) as the working electrode. This method allows the study of the influence of potential on the corrosion rate and the evaluation of the degree of protection of materials against corrosion under various conditions. A 0.5 M NaCl solution was used for corrosion resistance testing. This solution was divided into separate containers, which were connected using a salt bridge. This setup creates uniform exposure conditions for the samples while maintaining a consistent chemical environment for corrosion testing. The CS Studio6 software was used to determine the potential values, current density, and corrosion rate, as well as to calculate Tafel slopes (ba, bc). The test results are presented as graphs on a logarithmic current density scale.

**Phase composition analysis** of the samples was performed using an X'PertPro X-ray diffractometer from Philips (Netherlands) with CuK $\alpha$  radiation. The Bragg-Brentano configuration was used for measurements. Data processing and quantitative analysis were carried out using X'Pert HighScore Plus software (version 3.0).

### Results and Discussion

The study of the structural-phase states of the hardened surface layers of steel 45 before and after EPH revealed significant changes. The microstructure of steel 45 samples before and after EPH is presented in Figure 3.

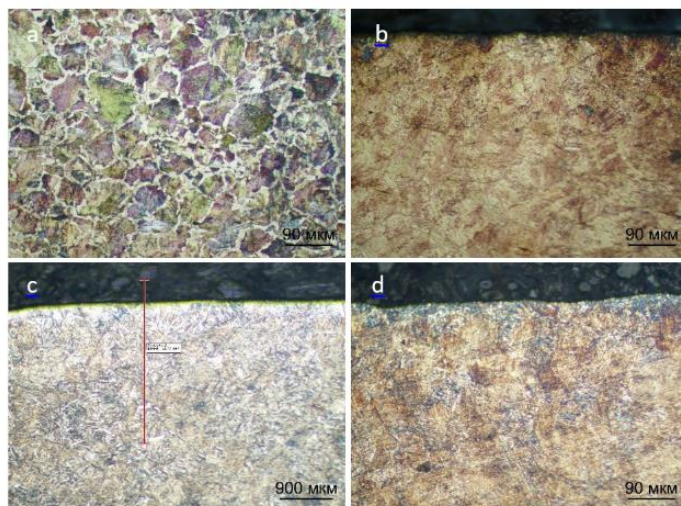


Figure 3 – Optical micrographs of steel 45: a – before; b, c, d – after EPH

The optical metallographic analysis revealed that in the initial state (Fig. 3a), the structure of steel 45 is characterized as ferritic-pearlitic, with a predominance of pearlite grains over ferrite. The EPH process led to the formation of a fine-dispersed martensitic structure (Fig. 3b, c, d) and significantly increased the hardness and wear resistance of the surface. The formation of a needle-like martensitic microstructure is also confirmed by the SEM images shown in Figure 4 [23, 24].

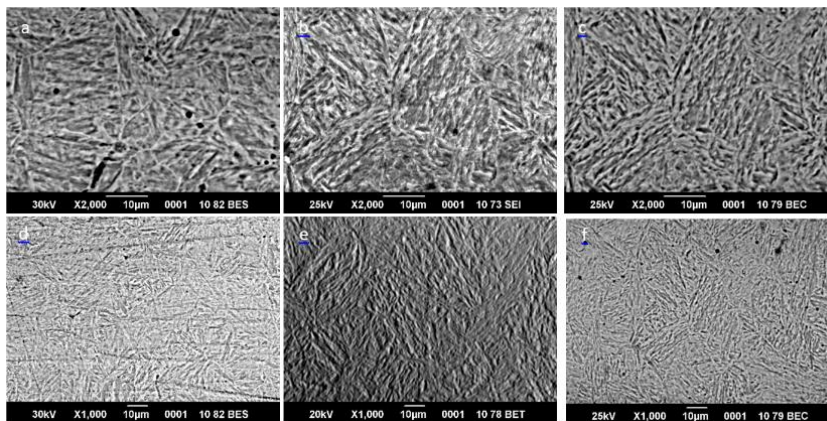


Figure 4 – SEM micrographs of steel 45 samples at magnifications of  $\times 2000$  and  $\times 1000$ : a, d – № 1; b, e – № 2; c, f – № 3

The results of microhardness measurements of the surface layer of steel 45 before and after EPH are shown in Figure 5. The initial microhardness of steel 45 is 209 HV. The greatest increase in microhardness is observed in sample No. 3, where it reaches 690 HV, corresponding to a 3-3.5 times increase compared to the initial state. It was also observed that the thickness of the hardened layer was 5 mm.

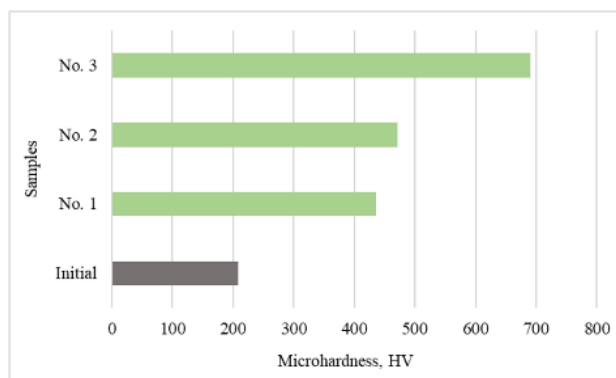


Figure 5 – Microhardness results of steel 45 samples before and after EPH

Thus, EPH significantly increased the surface microhardness of steel 45, particularly for sample No. 3, demonstrating the effectiveness of this method in enhancing the wear resistance of the material.

Additionally, experiments were conducted to evaluate the changes in the tribological characteristics of medium-carbon steel 45 before and after EPH. Tribological tests were performed using the «ball-on-disk» method. Figure 6 presents the friction coefficient versus sliding distance graphs for the steel 45 samples after EPH [25]. Sample No. 3 shows the lowest friction coefficient of 0.454, indicating the greatest improvement in tribological characteristics among all samples, with a 1.5 times enhancement compared to the initial values before hardening.

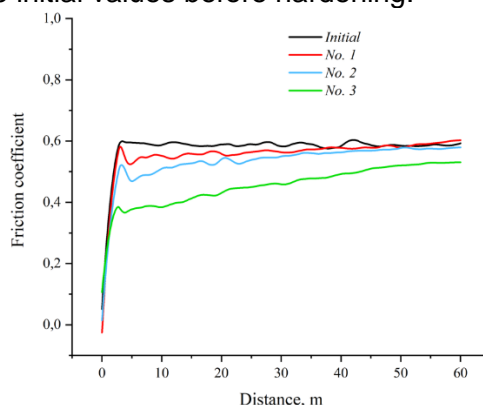


Figure 6 – Friction coefficient vs. sliding distance graphs for steel 45 samples before and after EPH

The X-ray diffraction (XRD) pattern shown in Figure 7 displays peaks corresponding to the crystalline phases of sample No. 3. The main peaks on the graph are identified as  $\alpha'$ -Fe, indicating the presence of martensite in the sample. The peaks at  $2\theta$  values of approximately  $44^\circ$ ,  $65^\circ$ , and  $82^\circ$  correspond to the primary diffraction lines for ferrite with crystallographic plane indices (110), (200), and (211), respectively.

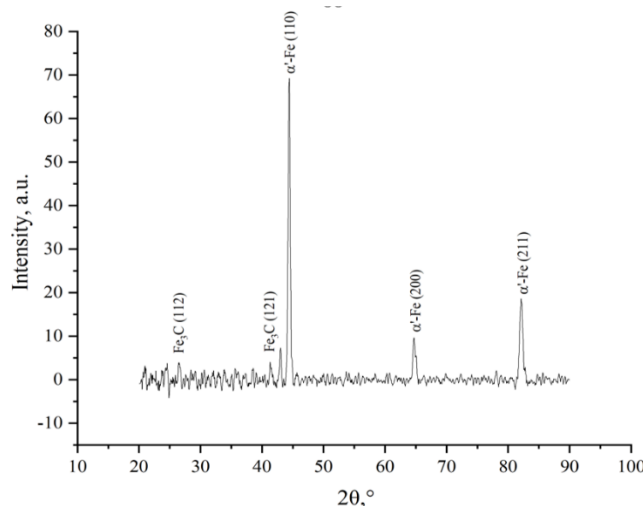


Figure 7 – X-ray diffraction (XRD) pattern of sample № 3

Additionally, peaks corresponding to the  $Fe_3C$  carbide phase were detected. Overall, the X-ray diffraction analysis confirms the presence of phases typical for quenched steels, which explains the increased hardness and wear resistance of the samples after EPH.

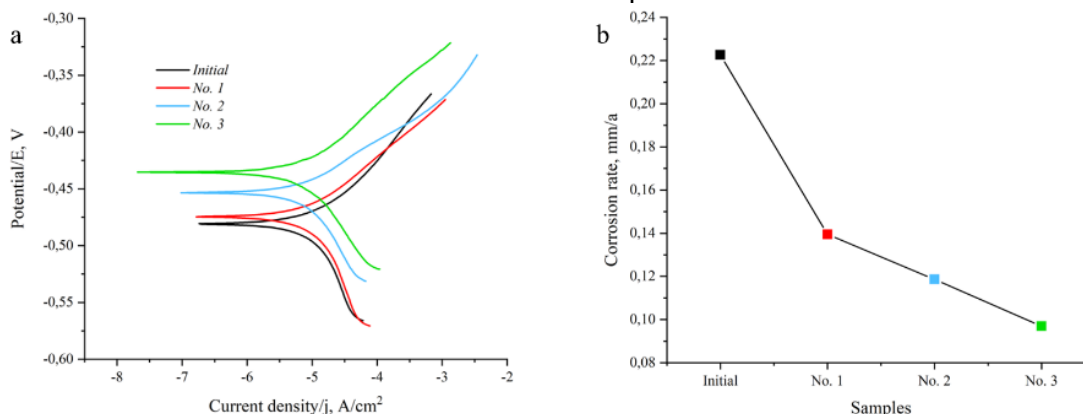


Figure 8 – Potentiodynamic polarization curves for electrochemical corrosion resistance test – a, and corrosion rate graph of samples before and after EPH – b

The presented polarization curve (Figure 7a) shows the relationship between current density and potential for samples before and after EPH (Initial, №1, № 2, № 3). Samples № 1, № 2, and № 3 exhibit a shift in corrosion potential towards more positive values and a decrease in corrosion current density compared to the initial sample, indicating an improvement in their corrosion resistance. Sample № 3 shows the lowest corrosion current density ( $8.2602 \times 10^{-3}$  mA/cm<sup>2</sup>), which suggests the best corrosion resistance among all the samples studied. Therefore, electrolyte-plasma surface hardening significantly enhanced the corrosion resistance of samples № 1, № 2, and № 3, with sample № 3 showing the highest effectiveness. Additionally, Figure 7b presents the corrosion rate values for the four samples: Initial, № 1, № 2, and № 3. The initial sample has the highest corrosion rate (0.22255 mm/a), indicating the lowest corrosion resistance among all the samples studied. After EPH, the corrosion rate significantly decreases for samples № 1, № 2, and № 3. The best result is observed in sample № 3, with a corrosion rate of 0.096902 mm/a, indicating the highest corrosion resistance.

## Conclusion

The conducted study demonstrated that EPH of steel 45 using a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ -based electrolyte significantly enhances its mechanical, tribological, and corrosion properties. The hardened zone up to 5 mm thick formed after EPH resulted in an increase in microhardness to 690 HV, which corresponds to a 3-3,5 times increase compared to the initial state. The reduction in the friction coefficient after EPH indicates a significant improvement in the tribological characteristics of steel 45. Additionally, the decrease in the corrosion rate after EPH points to the high corrosion resistance of the treated samples. Therefore, EPH can be considered an effective method for improving the performance characteristics of steel 45.

## References

1. The cathodic electrolytic plasma hardening of the 20Cr2Ni4A chromium-nickel steel / B.K. Rakhadilov et al // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2020. – Vol. 9, № 4. – P. 6969-6976.
2. Busov A.I. Vliyanie elektrolitno-plazmennogo poverkhnostnogo uprochneniya na strukturu i svoystva stali 40KhN / A.I. Busov // *Nauka, innovatsii i tekhnologii: ot idei k vnedreniyu*. – 2022. – P. 352-353.
3. Kozhanova R.S. Vliyanie elektrolitno-plazmennogo uprochneniya na strukturu i eroziionnyu stoikost' stali 65G / R.S. Kozhanova, B.K. Rakhadilov, Z.A. Satbayeva // *Fundamental and applied problems of modern physics*. – 2023. – P. 79.
4. Modifikatsiya poverkhnosti stali 30KhGSA s primeneniem elektrolitno-plazmennogo termotsiklicheskogo uprochneniya / B.K. Rakhadilov et al // *Novye materialy i tekhnologii: poroshkovaya metallurgiya, kompozitsionnye materialy, zashchitnye pokrytiya, Svarka*. – 2022. – P. 610-616.
5. Kulikov I. Elektrolitno-plazmennaya obrabotka materialov / I. Kulikov, S. Vashchenko, A. Kamenev // *Litres*. – 2022.
6. Satbayeva Z. Issledovanie mekhanicheskikh i tribologicheskikh svoystv khromonikelevoi stali pri elektrolitno-plazmennom uprochnenii / Z. Satbayeva // *Moskva*. – 2023. – Vol.1. – P. 615-617.
7. General Chemical. Soda ash Technical & Handling Guide. General Chemical Industrial Products. Available from: <https://files.engineering.com/download.aspx?folder=255aa3ad-f047-41a3-94f4-b20fccb2320c&file=sodaashtech-130416232158-phpapp02.pdf>.
8. Ali M.F. Handbook of industrial chemistry / M.F. Ali, B.M. El Ali, J.G. Speight // McGraw-Hill Companies, New York, 2005.
9. Pogrebnyak A.D. Elektrolitno-plazmennaya obrabotka i nanesenie pokrytiy na metally i splavy / A.D. Pogrebnyak // *Uspekhi fiziki metallov*, 2005.
10. Gilazov I.N. O vozmozhnosti ispol'zovaniya elektrolitno-plazmennogo borirovaniya detalei / I.N. Gilazov, V.I. Astashchenko, D.V. Emelyanov // *Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Innovatsionnye mashinostroitelnye tekhnologii, oborudovanie i materialy – 2017 (MNTK «IMTOM-2017»)»*. Ch. 2. / Kazan, 2017. – P. 305-308.
11. Pogrebnyak A.D. Elektrolitno-plazmennaya tekhnologiya dlya nanosheniya pokrytii i obrabotki metallov i splavov / A.D. Pogrebnyak, A.Sh. Kaverina, M.K. Kylyshkanov // *Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov*. – 2014. – Vol. 50, № 1. – P. 72-88.
12. Tabieva E.E. Izmenenie struktury i svoystv poverkhnosti kolesnoi stali pri elektrolitno-plazmennoi poverkhnostnoi zakalke: Dissertatsiya na soiskanie stepeni doktora filosofii / E.E. Tabieva // *Oskemen*, 2022. – 120 p.
13. Dayanç A. The cathodic electrolytic plasma hardening of steel and cast iron based automotive camshafts / A. Dayanç, B. Karaca, L. Kumruoğlu // *Acta Physica Polonica A*. – 2017. – Vol. 131, № 3. – P. 374-378.
14. Saltanova M.A. Primenenie induksionnoi zakalki pri obrabotke detalei / M.A. Saltanova, I.I. Vedernikova // *Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov*. – 2022. – P. 228-232.
15. Salamekh A. Poverkhnostnaya zakalka kak sposob uprochneniya detalei, ispytyvayushchikh peremennye nagruzki / A. Salamekh, V.A. Mamontov // *Nauchnye trudy Astrakhanskogo GTU*. – 2000. – Vol. 3, № 1. – P. 291.
16. Popova N.A. Structure and phase composition of ferritic-pearlitic steel surface after electrolytic plasma quenching / N.A. Popova // *Russian Physics Journal*. – 2020. – Vol. 63. – P. 791-796.

17. Influence of surface quenching on morphology and phase composition of ferritic-pearlitic steel / N.A. Popova et al // Izvestiya Ferrous Metallurgy. – 2021. – P. 920.
18. Vliyaniye elektrolitno-plazmennoi zakalki na tribologicheskie svoystva stali 40KhN / A.B. Kenesbekov et al // Vestnik Vostochnokazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva. – 2018. – № 4. – P. 144-151.
19. Satbayeva Z.A. Osobennosti strukturoobrazovaniya v stali 40KhN pri elektrolitno-plazmennom poverkhnostnom uprochnenii / Z.A. Satbayeva, D.R. Baizhan, A.B. Kenesbekov // Poroshkovaya metallurgiya: inzheneriya poverkhnosti, novye poroshkovye kompozitsionnye materialy. Svarka, 2019.
20. Rakhadilov B.K. Povysheenie iznosostoikosti detalei avtostsepykh ustroystv elektrolitno-plazmennoi poverkhnostnoi zakalkoi / B.K. Rakhadilov, E. Kyzyrkhan, L.G. Zhurerova // Vestnik Vostochnokazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva. – 2016. – № 3. – P. 117-121.
21. Tabieva E.E. Struktura i mekhanicheskie svoystva kolesnoi stali do i posle elektrolitno-plazmennoi poverkhnostnoi zakalki / E.E. Tabieva // Vestnik Vostochnokazakhstanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. D. Serikbaeva. – 2020. – № 3. – P. 156-161.
22. Satbayeva Z. Strukturoobrazovanie v legirovannykh stalyakh pri elektrolitno-plazmennom poverkhnostnom uprochnenii: Dissertatsiya na soiskanie stepeni doktora filosofii / Z. Satbayeva – Oskemen: 2022. – 160 p.
23. The impact of technological parameters of electrolytic-plasma treatment on the changes in the mechano-tribological properties of steel 45 / B. Rakhadilov et al // AIMS Materials Science. – 2024. – № 11(4). – P. 666-683. doi: 10.3934/matricsci.2024034.
24. Ren Q.Q. The effects of heat-treatment parameters on the mechanical properties and microstructures of a low-carbon dual-phase steel / Q.Q. Ren // Materials Science and Engineering: A. – 2023. – Vol. 888. – P. 145801.
25. Zmii V.I. Kompleksnye diffuzionnye pokrytiya na uglerodistoi stali i ikh tribologicheskie kharakteristiki / V.I. Zmii // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu. – 2006. – № 33.

### Funding

*This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP13068365).*

**Б. Рахадиллов<sup>1</sup>, Р. Кусаинов<sup>2</sup>, Ж. Бақыт<sup>2</sup>, Е. Найманкумарулы<sup>2</sup>, Н. Құрманғалиев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ЖШС «Plasma Science»,

Өскемен қ., 070000, Қазақстан

<sup>2</sup>Инжиниринг орталығы «Қатайту технологиялары және жабындар»,

Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,

071412, Қазақстан, Семей, Глинка к-сі 20 А

\*e-mail: rinat.k.kus@mail.ru

### **БОЛАТТЫҢ ЭЛЕКТРОЛИТ-ПЛАЗМАЛЫҚ БЕТІН ҚАТАЙТУ ҮШІН НАТРИЙ КАРБОНАТЫ НЕГІЗІНДЕГІ ЭЛЕКТРОЛИТТИ ҚОЛДАНУ 45**

Бұл мақалада натрий карбонаты негізіндегі электролит көмегімен 45 болаттың электролит-плазмалық қатаюы бағаланады. Жұмыс барысында натрий карбонатының сулы ерітіндісін электролиздеу процесінің теориялық негіздері зерттелді. Электролиттік плазманың қатаюынан кейінгі 45 болат сынамаcының механикалық және трибологиялық қасиеттері зерттелді. Электролиттік құрамы 20% натрий карбонаты мен 80 тазартылған судың электролиттік-плазмалық қатаюынан кейін қалыңдығы 5 мм-ге дейін шыңдалған аймақ түзілетіні анықталды. Микроқаттылықтың жоғарылауы 690 ВВ ДЕЙІН болды, бұл бастапқы күймен салыстырғанда 3-3, 5 есе өсуге сәйкес келеді. Трибологиялық сынақтардың нәтижелері ЭПҚ-дан кейін 45 болаттың үйкеліс коэффициентінің төмендегенін көрсетті, бұл сәндіруге дейінгі бастапқы мәнмен салыстырғанда трибологиялық сипаттамалардың айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді. Сондай-ақ 45 болаттың коррозияға төзімділігіне электрохимиялық сынақтар жүргізілді. EPU - дан кейін болат 45 үлгілері үшін коррозия жылдамдығы айтарлықтай төмендеді, бұл оның коррозияға ең жоғары төзімділігін көрсетеді.

**Түйін сөздер:** электролиттік плазманың қатаюы, болат 45, құрылымы, тозуға төзімділігі, микроқаттылығы.

**Б. Рахадиллов<sup>1</sup>, Р. Кусаинов<sup>2</sup>, Ж. Бақыт<sup>2</sup>, Е. Найманкумарулы<sup>2</sup>, Н. Құрманғалиев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ТОО «Plasma Science»,

070000, Казахстан, г. Усть-Каменогорск,

<sup>2</sup>Инжиниринговый центр «Упрочняющие технологий и покрытия»,

Университет имени Шакарима города Семей,

071412, Казахстан, г. Семей, ул. Глинки 20 А

\*e-mail: rinat.k.kus@mail.ru

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТА НА ОСНОВЕ КАРБОНАТА НАТРИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 45**

*В данной статье оценивается электролитно-плазменное затвердевание стали 45 с использованием электролита на основе карбоната натрия. В ходе работы были исследованы теоретические основы процесса электролиза водного раствора карбоната натрия. Исследованы механические и трибологические свойства 45 проб стали после отверждения электролитической плазмы. Установлено, что после электролитически-плазменного отверждения 20% карбоната натрия и 80 дистиллированной воды образуется закаленная зона толщиной до 5 мм. Увеличение микротвердости составило до 690 ВВ, что соответствует увеличению в 3-3, 5 раза по сравнению с исходным состоянием. Результаты трибологических испытаний показали снижение коэффициента трения стали 45 после ЭПУ, что свидетельствует о значительном улучшении трибологических характеристик по сравнению с исходным значением до затухания. Также были проведены электрохимические испытания коррозионной стойкости стали 45. После EPU скорость коррозии значительно снизилась для моделей стали 45, что свидетельствует о ее максимальной коррозионной стойкости.*

**Ключевые слова:** электролитическое плазменное упрочнение, сталь 45, структура, износостойкость, микротвердость.

### **Information about the authors**

**Bauyrzhan Rakhadilov** – PhD, Vice-rector on scientific work of Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: rakhadilovb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>.

**Rinat Kussainov\*** – Head of the Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», Semey, Kazakhstan; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Zhanel Bakyt** – junior researcher of Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: bakytzhanel@gmail.com.

**Yerasyl Naimankumaruly** – doctoral student of the specialty «Technical Physics» of Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: naimankumarylu@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1953-316X>.

**Rinat Kurmangaliev** – junior researcher of Engineering Center «Strengthening Technologies and Coatings», Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: rinat\_real@rambler.ru.

### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Бауыржан Корабаевич Рахадиллов** – PhD, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің ғылыми жұмыс жөніндегі проректор, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: rakhadilovb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>.

**Ринат Кенжеевич Кусаинов\*** – «Қатайту технологиялары және жабындары» Инжиниринг орталығының жетекшісі, Семей қ., Қазақстан; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Жанел Әділжанқызы Бақыт** – «Қатайту технологиялары және жабындары» Инжиниринг орталығының кіші ғылыми қызметкері, Семей қ. Қазақстан; e-mail: bakytzhanel@gmail.com.

**Ерасыл Найманкумарулы** – «Техникалық физика» мамандығының докторанты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан; e-mail: naimankumarylu@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1953-316X>.

**Ринат Құрманғалиев Хамитұлы** – «Қатайту технологиялары және жабындары» Инжиниринг орталығының кіші ғылыми қызметкері, Семей қ. Қазақстан; e-mail: rinat\_real@rambler.ru

### **Сведения об авторах**

**Бауыржан Корабаевич Рахадиллов** – PhD, Проректор по научной работе Восточно-Казахстанского университета им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: rakhadilovb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5990-7123>.



**Ринат Кенжеевич Кусаинов\*** – руководитель Инжинирингового центра «Упрочняющие технологии и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5166-4761>.

**Жанел Әділжанқызы Бақыт** – младший научный сотрудник Инжинирингового центра «Упрочняющие технологии и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: bakytzhanel@gmail.com.

**Ерасыл Найманкумарулы** – докторант специальности «Техническая физика» Университета имени Шакарима города Семей, Казахстан; e-mail: naimankumarylu@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1953-316X>.

**Ринат Құрманғалиев Хамитулы** – младший научный сотрудник Инжинирингового центра «Упрочняющие технологии и покрытия», г. Семей, Казахстан; e-mail: rinat\_real@rambler.ru.

*Received 04.09.2024*

*Revised 16.09.2024*

*Accepted 17.09.2024*

## 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
- Инженериядағы, техникадағы және технологиядағы математикалық және статистикалық әдістер
- 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:

- ГТАХА индексі (ғылыми-техникалық ақпараттың халықаралық айдары) – беттің сол жақ шетінен көрсетіледі. ГТАХА индексінің мақаласын тағайындау үшін [www.grnti.ru](http://www.grnti.ru) сайты 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 тураланады. 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 мәтінде 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 рәсімдеу 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..., № 8. – Б. 40-41.
2. Курмуков А.А. Леуомизиннің ангиопротекторлық және гиполлипидемиялық белсенділігі / А.А. Курмуков. – Алматы: Бастау, 2007. – 148 б.
3. Абимильдина С.Т. Қант өндірісі инфрақұрылымының жұмыс істеуі және дамуы / С.Т. Абимильдина, Г.Е. Сыдыкова, Л.А. Оразбаева // Қазақстанның аграрлық секторындағы Инновация: Матер. Халықарал. конф. / ҚазҰУ. Әл-Фараби атындағы қазу. – 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](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 **көмінде 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<sup>1\*</sup>, С.А. Зайцев<sup>2</sup>, М.М. Исакова<sup>1</sup>, А.К. Каримов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Мәскеу мемлекеттік университеті,  
119991, Ресей Федерациясы, Мәскеу, Ленин таулары, 1-үй

<sup>3</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Әл-Фараби даңғылы, 71  
\*e-mail: smagulov@mail.ru

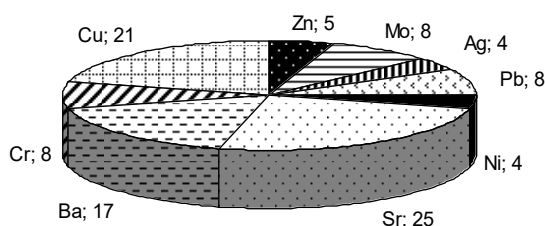
### АУЫР МЕТАЛДАРДЫҢ БИОГЕОХИМИЯЛЫҚ МИГРАЦИЯСЫ ЖӘНЕ ЖИНАҚТАЛУЫ

**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	$0,5 \times 10^{-6}$	$0,2 \times 10^{-4}$
2	Cr	$0,4 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-3}$
3	V	$8,5 \times 10^{-5}$	–
Ескертпе *			

### Ғылыми нәтижелерді талқылау

Мәтін.....

### Қорытынды

Мәтін.....

### Әдебиеттер тізімі

1. Курмуков А.А. Леуомизиннің ангиопротекторлық және гиполлипидемиялық 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. Leuomizinnii angioprotectorlyk zhene gipolipidemiyalyk belsendiligi / A.A. Kurmukov. – Almaty: Bastau, 2007. – 148 b.
2. Khrustaleva M.A. Tabiғi zhene antropogendik landshaft komponentterindegi auyr metaldardyn biogeokhimiyalyk keshi-qony zhene zhinaqtaluy / M.A. Khrustaleva // 3-shi Khalyqaralyk ғыlymi konferentsiyanyn ғыlymi eңbektter zhinaғы. – Semei q.: SMU baspasy Shәkәrim, 2012. – 1 Tom. – B. 368-373.3. ...

**М.А. Смагулов<sup>1\*</sup>, С.А. Зайцев<sup>2</sup>, М.М. Исакова<sup>1</sup>, А.К. Каримов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Московский государственный университет,  
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

<sup>3</sup>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<sup>1\*</sup>, S. Zaitsev<sup>2</sup>, M. Iskakov<sup>1</sup>, A. Karimov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street

<sup>2</sup>Moscow State University, Moscow, Russia  
119991, Russian Federation, Moscow, 1 Leninskie gory Street

<sup>3</sup>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; Семей қаласының Шәкәрім атындағы 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; Семей қаласының Шәкәрім атындағы 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»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6369-3690>.

**Сергей Александрович Зайцев** – кандидат физико-математических 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»; Университет имени Шакарима города Семей, 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 of Semey, 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 of Semey, 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](http://tech.vestnik.shakarim.kz)

Для работы с порталом необходимо зарегистрироваться на сайте [tech.vestnik.shakarim.kz](http://tech.vestnik.shakarim.kz)

Для публикации в журнал принимаются статьи по следующим направлениям:

- Автоматизация и информационные технологии
- Математические и статистические методы в инженерии, технике и 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](http://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 (заголовки) – 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. Аксартон Р.М. Метод количественного определения леукомизина / Аксартон 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 гиполлипидемическая активность леуомизина / А.А. Курмуков. – Алматы: Бастау, 2007. – 148 с.
3. Абимильдина С.Т. Функционирование и развитие инфраструктуры сахарного производства / С.Т. Абимильдина, 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](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<sup>1\*</sup>, С.А. Зайцев<sup>2</sup>, М.М. Искакова<sup>1</sup>, А.К. Каримов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

<sup>2</sup>Московский государственный университет,  
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

<sup>3</sup>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 отобрано содержание тяжелых металлов во льду водохранилищ.

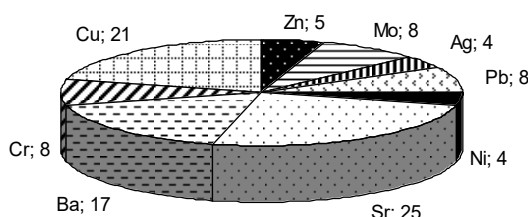


Рисунок 1 – Распределение содержания тяжелых металлов во льду водохранилищ Москворецкой системы

### 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	$0,5 \times 10^{-6}$	$0,2 \times 10^{-4}$
2	Cr	$0,4 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-3}$
3	V	$8,5 \times 10^{-5}$	–
Примечание: *			

### Обсуждение научных результатов

Текст.....

### Заключение

Текст.....

### Список литературы

1. Курмуков А.А. Ангиопротекторная и гипополипидемическая 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. Angioprotekturnaya 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<sup>1\*</sup>, С.А. Зайцев<sup>2</sup>, М.М. Искакова<sup>1</sup>, А.К. Каримов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

<sup>2</sup>Мәскеу мемлекеттік университеті,  
119991, Ресей Федерациясы, Мәскеу, Ленин таулары, 1-үй

<sup>3</sup>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<sup>1\*</sup>, S. Zaitsev<sup>2</sup>, M. Iskakov<sup>1</sup>, A. Karimov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street

<sup>2</sup>Moscow State University, Moscow, Russia  
119991, Russian Federation, Moscow, 1 Leninskie gory Street

<sup>3</sup>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»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6369-3690>.

**Сергей Александрович Зайцев** – кандидат физико-математических 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 Исакова** – докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, 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; Семей қаласының Шәкәрім атындағы 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 Исакова** – «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының докторанты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы 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 of Semey, 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 of Semey, 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](http://tech.vestnik.shakarim.kz)

To work with the portal, you need to register on the site [tech.vestnik.shakarim.kz](http://tech.vestnik.shakarim.kz)

Articles in the following areas are accepted for publication in the journal:

- Automation and information technology
- Mathematical and statistical methods in engineering, technique and technology
- Engineering and mechanics
- Manufacturing and Processing Industries
- 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](http://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. Angioprotekornaya 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 [Elektron. resurs] / D.V. Sokolovskii. – 2006. – URL: [http://bookchamber.kz/stst\\_2006.htm](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<sup>1</sup>, S. Zaitsev<sup>2</sup>, M. Iskakova<sup>1</sup>, A. Karimov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Shakarim University of Semey

071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A, Glinki str.

<sup>2</sup>Moscow State University,

119991, Russian Federation, Moscow, Leninskiye Gory, 1, str.

<sup>3</sup>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.

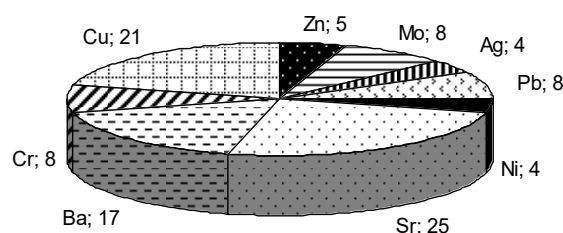


Figure 1 – Distribution of heavy metals in the ice of reservoirs of the Moskvoretskaya system

#### 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	$0,5 \times 10^{-6}$	$0,2 \times 10^{-4}$
2	Cr	$0,4 \times 10^{-6}$	$1,6 \times 10^{-3}$
3	V	$8,5 \times 10^{-5}$	–

Note: \*

#### Discussion of scientific results

Text.....

#### Conclusion

Text.....

## References

1. Kurmukov A.A. Angioprotekornaya i gipolipidemicheskaya aktivnost' leuomizina / A.A. Kurmukov. – Almaty: Bastau, 2007. – 148 s.
2. Khrustaleva M.A. Biogeokhimitskaya migratsiya i akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v komponentakh prirodnikh i antropogennykh landshaftov / M.A. Khrustaleva // Sbornik trudov 3-i Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. – g. Semey: Izd-vo SGU im. Shakarima, 2012. – Tom 1. – S. 368-373.
3. ...

**М.А. Смагулов<sup>1\*</sup>, С.А. Зайцев<sup>2</sup>, М.М. Исакова<sup>1</sup>, А.К. Каримов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка к-сі, 20 А

<sup>2</sup>Мәскеу мемлекеттік университеті,  
119991, Ресей Федерациясы, Мәскеу, Ленин таулары, 1-үй

<sup>3</sup>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<sup>1\*</sup>, С.А. Зайцев<sup>2</sup>, М.М. Исакова<sup>1</sup>, А.К. Каримов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинка, 20 А

<sup>2</sup>Московский государственный университет,  
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1

<sup>3</sup>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 of Semey, 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 of Semey, 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»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: smagulov@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6369-3690>.

**Сергей Александрович Зайцев** – кандидат физико-математических 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 Исакова** – докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, 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; Семей қаласының Шәкәрім атындағы 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 Исакова** – «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының докторанты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы 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

<b>А.Р. Ерболулы, К.Б. Тусупов</b> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО ЗАВТРА: ВЫВОДЫ ИЗ АНАЛИЗА ВЕДУЩИХ КИБЕРАТАК И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЗАЩИТУ ИНФОРМАЦИИ.....	5
<b>Э.Н. Бопанова, И.Б. Карымсакова, Ю.В. Крак</b> АНАЛИЗ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ....	15
<b>A. Mendebayeva, T. Zhylybayev, E. Qaiyrolla, Ahmet Şakir Dokuz</b> BASIC ASPECTS OF SELECTING AND USING COMMUNICATION PROTOCOLS FOR A SMART HOME SYSTEM.....	23
<b>D. Myassoyedov, T. Zhylybayev, Y. Myassoyedova, K. Zarykbaeva, Y. Ospanov</b> STRUCTURE OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF TREATMENT FACILITIES OF THE CITY SEMEY.....	27
<b>З.А. Кутпанова, Д.Р. Байдаханова, Е.А. Актаев, П.А. Пак</b> РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОСЕЩАЕМОСТЬЮ СТУДЕНТОВ.....	32
<b>V. Shumkin, S. Kaysanov</b> AUTOMATION OF DATA ANALYSIS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS.....	37
<b>А. Бимырзақызы, Ж.М. Алимжанова</b> ӘЛЕУМЕТТІК ЖЕЛІЛЕРДІ ЗЕРТТЕУ АРҚЫЛЫ КИБЕРҚАҰІПТЕРДІ АНЫҚТАУ.....	42

### МАШИНА ЖАСАУ ЖӘНЕ МЕХАНИКА

---

#### МАШИНОСТРОЕНИЕ И МЕХАНИКА

<b>Zh. Bakyt, A. Shynarbek, R. Kussainov, O. Stepanova, A. Zhassulan</b> USE OF ELECTRIC ARC METALLIZATION TO PROTECT METAL SURFACES FROM CORROSION: A STUDY ON THE EXAMPLE OF STEEL 45 AND 30HGSA WIRE.....	50
<b>Г.Б. Абдилова, Ж.А. Сергибаева, Б.Б. Кабулов, А.А. Баядилова, Б.А. Лобасенко</b> ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖАБДЫҚТЫҢ ЖҰМЫСҚА ҚАБІЛЕТТІЛІГІН АРТТЫРУ ЖОЛДАРЫ.....	55
<b>P.K. Кусаинов, Н.Е. Қадырболат, P.X. Курманғалиев, К.Д. Орманбеков, А.Б. Шынарбек</b> ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИНЫ ИЗ СТАЛИ 45.....	62
<b>Н. Серікбекұлы, К.Д. Орманбеков, А.Б. Шынарбек, А.Ж. Жасулан, Б.А. Лобасенко</b> ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ АВИАЦИОННЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ.....	71
<b>К.Д. Орманбеков, А.Ж. Жасулан, З.А. Сатбаева, Г.М. Андыбаева, Т. Жанабай</b> ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ.....	79

## ТАМАҚ ИНЖЕНЕРИЯСЫ ЖӘНЕ BIOTEХНОЛОГИЯ

### ПИЩЕВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И BIOTEХНОЛОГИЯ

<b>С.Г. Каманова, Л.А. Мурат, Ә.И. Есенжан, С.А. Садуакасова, Г.Х. Оспанкулова</b> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПИЩЕВЫХ ЯИЦ.....	91
<b>Qianyi Tian, Lei Deng, Mi Yin, Yahong Wei</b> ISOLATION AND IDENTIFICATION OF LIGNIN-DEGRADING BACTERIAL STRAINS.....	97
<b>Е.М. Ағзам, А.К. Какимов, А.Е. Еренгалиев, Н.К. Ибрагимов</b> РАЗРАБОТКА СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КУРТА.....	104
<b>А.Н. Аралбаева, Р.С. Утегалиева, Г.Т. Жаманбаева, М.К. Мурзахметова</b> ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНЫХ И МЕМБРАНОСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ЭКСТРАКТОВ ГРИБА <i>GANODERMA LUCIDUM</i> В УСЛОВИЯХ IN VITRO.....	111
<b>Ж.С. Желеуова, А.У. Шингисов, А.Р. Тасполтаева, Э.Т. Кансейтова, А.Т. Бердембетова</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ПОЛУКОПЧЕНОЙ КОЛБАСЫ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ.....	118
<b>Д.Б. Тоймбаева, И.Ж. Темирова, А.Б. Альдиева, Д.Д. Хамитова, Г.Х. Оспакулова</b> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЦЕЛЬНОЗЕРНОВЫХ И БОБОВЫХ КУЛЬТУР.....	127
<b>Т.Б. Ахлан, А.К. Изембаева, Н. Gul</b> ЭКСТРУЗИЯ ҮДЕРІСІНДЕ ӨСІМДІК ШИКІЗАТЫН ПАЙДАЛАНУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ....	133
<b>Е.С. Жарыкбасов, К.С. Жарыкбасова, С.С. Толеубекова, М.М. Джумажанова, А.М. Байкадамова</b> РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ СУХОГО КОНЦЕНТРАТА ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТВОРОЖНЫХ ПРОДУКТОВ.....	146
<b>А.Д. Нызаматдин, Э.К. Асембаева, Ж.С. Набиева, А.Ж. Божбанов, М.О. Кожахиева</b> ЕШКІ СҮТІНЕН ЖАСАЛҒАН СҮТҚЫШҚЫЛДЫ ӨНІМІНІҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІ.....	155
<b>А.Қ. Серікбай, Т.Б. Абдигалиева</b> СҮТ ӨНІМДЕРІНЕН БӨЛІНІП АЛЫНҒАН СҮТ ҚЫШҚЫЛДЫ БАКТЕРИЯЛАРДЫҢ АНТИБИОТИКТЕРГЕ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ.....	162
<b>З.Н. Темиржанова, К.С. Исаева</b> ВЛИЯНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ НА БИОМАРКЕРЫ ДИАГНОСТИРУЮЩИЕ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ.....	169
<b>Б.К. Булашев, С.Г. Каманова, И.Ж. Темирова, А.К. Игенбаев, Г.Х. Оспанкулова</b> АНАЛИЗ ОТРАСЛЕВЫХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ.....	177
<b>С.А. Садуахасова, Б.С. Шайменова, Л.А. Мурат, С.Г. Каманова, Г.Х. Оспанкулова</b> ВЛИЯНИЕ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ НА ОБЩУЮ БАКТЕРИАЛЬНУЮ ОБСЕМЕНЕННОСТЬ СКОРЛУПЫ УТИНЫХ ЯИЦ.....	182
<b>Б.М. Искаков, З.В. Капшакбаева, С.А. Карденов, С.Д. Токаев, С.М. Тохтарова</b> ВЛИЯНИЕ ПОРОШКА ЭКСТРАКТА ОБЛЕПИХИ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ, СТРУКТУРНО- МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОТЛЕТНОГО ФАРША.....	190
<b>К. Bekbayev, A. Toleugazykyzy, B. Volkenov, R. Iskakov, N. Kazangarova</b> VALORIZATION OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS BY DARK FERMENTATION: DEVELOPMENT OF EFFECTIVE CONDITIONS FOR MOLECULAR HYDROGEN BIOSYNTHESIS.....	197

<b>Ф.Т. Диханбаева, А.Б. Есенова, Ж.К. Имангалиева, М.К. Изтилеуов, А.Ю. Просеков</b> НАССР ҚАҒИДАТТАРЫ НЕГІЗІНДЕ ТҮЙЕ СҮТІНЕН ЖАСАЛҒАН СҮТҚЫШҚЫЛДЫ ӨНІМНІҢ САПАСЫ МЕН ҚАУІПСІЗДІГІН БАСҚАРУ.....	204
<b>А.Н. Нургазезова, Г.Н. Нурымхан, Э.С.Абдуллина, Ш.К. Жакупбекова, А.О. Майжанова</b> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ГОВЯДИНЫ, РЫБЫ И РЫБНОГО ПОЛУФАБРИКАТА НА УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ ИЛУ-10 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ОТНОШЕНИЮ К CLOSTRIDIUM SPP.....	215
<b>Б.К. Асенова, Л.М. Турсунгалиева, Г.Т. Туменова</b> ТАМАҚ ӨНЕРКӘСІБІНДЕ ТАРЫ (ТАЛҚАН) ҚОЛДАНУ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ.....	224
<b>А.М. Байкадамова, Е.С. Жарықбасов, К.С. Жарықбасова, Б. Идырышев, Ж.Б. Асиржанова</b> ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ НАССР НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА.....	230

## ТЕХНИКАЛЫҚ ФИЗИКА ЖӘНЕ ЖЫЛУЭНЕРГЕТИКАСЫ

### ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

<b>В.М. Юров, К.Н. Жангозин, Т.К. Жанабергенов, Д.Б. Каргин</b> ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ ГРАФЕНА.....	243
<b>A. Bektemisov, A. Kassymov, Zh. Akishov, A. Adylkanova, T. Umyrzhan</b> INVESTIGATION OF THE HEAT CAPACITIES OF NANOFUIDS BASED ON NANOPARTICLES OF Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> AND CuO BY THE ADDITIVE METHOD.....	253
<b>Н.А. Дёмин, А. Терзиев, С.К. Абильдинова, С.Н. Камарова, Ж.Б. Сағдолдина</b> К ВОПРОСУ СЖИГАНИЯ НЕПРОЕКТНОГО ТОПЛИВА.....	258
<b>Д.Н. Нургалиев, А.Е. Сатыбалдинова, А.Б. Леонидова, О.Қ. Құлмаханбет, С.Л. Елистратов</b> АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА СТЕНД- ТРЕНАЖЕРЕ «ХОЛОДИЛЬНИК-2».....	264
<b>Т.Н. Умыржан, Н.Н. Умыржан, Ж.К. Алдажуманов, Н.А. Демин, С.Л. Елистратов</b> РЕЦИРКУЛЯЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ.....	271
<b>Т.Н. Умыржан, Н.Н. Умыржан, А.Н. Шалаганова, А.С. Кузкенов, С.Л. Елистратов</b> КЕУЕКТІ МЕТАЛДАРДЫҢ ЖЫЛУ АЛМАСУ АППАРАТТАРЫҢДА ҚОЛДАНЫЛУ ТИІМДІЛІГІНІҢ ТАЛДАУЫ.....	277

## ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

<b>S.Ye. Tursynbek, Kh.S. Rafikova, V.M. Dembitsky, D.S. Zolotareva, Ye.O. Belyankova</b> SYNTHESIS AND APPLICATION OF PHOSPHINITE LIGAND-CONTAINING RUTHENIUM CATALYSTS IN TRANSFER HYDROGENATION.....	283
<b>А.К. Сейпиев, А.А. Нурпейсова</b> РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ СПОДУМЕНА.....	299
<b>М.Н. Ишанова, А.А. Кадирбаева, А.Ф. Минаковский, N.K.Sagurbekova</b> ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ АКТИВАЦИИ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ ДАРБАЗИНСКОГО МЕТОРОЖДЕНИЯ.....	313
<b>A. Daultbay, D. Hanzheng, N. A. Ongalbek, S.Tursynbolat, A. Dalbanbay</b> HUMIC ACIDS: PROPERTIES, STRUCTURE, AND APPLICATION.....	321

<b>А.С. Дарменбаева, Д.М. Аубакирова, А.А. Орынбекова, Э.А. Байбазарова</b> ТЕМІРҚҰРАМДАС ОКСИДТЕРДІҢ НАНОБӨЛШЕКТЕРІН АЛУ ӘДІСІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	340
<b>Е.И. Иманбаев, Е. Тилеуберди, Д. Мукталы, А.Н. Боранбаева, Б. Серкебаева</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОДИФИКАЦИИ БИТУМОВ НЕФТЕШЛАМАМИ.....	346
<b>И. Байдуллаев, Г.С. Айткалиева, М.А. Елубай, Н.С. Демеубаева, А.А. Амитова</b> РЕГЕНЕРИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ АСФАЛЬТОВЫХ ПОКРЫТИЙ ОМОЛАЖИВАЮЩИМИ СРЕДСТВАМИ.....	356
<b>Н.Н. Нургалиев, А.Ж. Акимжанов, Е.П. Евлампиева, Р.К. Динжуманова, Д.Ж. Бекчанов</b> ПЛАСТИКАЛЫҚ ҚАЛДЫҚТАРДЫ ПИРОЛИЗ ӘДІСІМЕН ҚАЙТА ӨҢДЕУ.....	363
<b>Л.К. Қажыгелдиева, Б.Х. Мусабаева, А.У. Исаева, А.Н. Сабитова, Б.М. Силыбаева</b> БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА ДИКОРАСТУЩЕГО ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТЕНИЯ <i>Salicornia europaea L.</i> , ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО ОБЛАСТИ АБАЙ.....	374
<b>В. Kenzhaliyev, T. Ketegenov, K. Kamunur, A. Batkal, R. Nadirov</b> EFFICIENT COPPER EXTRACTION FROM CHALCOPYRITE USING THE «GLYCOLIC ACID – ETHYLENE GLYCOL – SODIUM LAURYL SULFATE» SYSTEM.....	380
<b>В. Rakhadilov, R. Kussainov, Zh. Bakyt, D. Baizhan, N. Kadyrbolat</b> TRIBOLOGICAL AND CORROSION PROPERTIES OF 45 AND 65G STEELS USED IN AGRICULTURAL MACHINERY AFTER ELECTROLYTIC-PLASMA HARDENING.....	388
<b>А.П. Ауешов, Ч.З. Ескибаева, А.К. Диканбаева, К.Т. Арынов, А.М. Тасболтаева</b> ХРИЗОТИЛ МЕН КҮКІРТ ҚЫШҚЫЛЫ ЖҮЙЕСІНДЕГІ ӨРЕКЕТТЕСУІНЕ ХРИЗОТИЛ КРИСТАЛДЫҚ ТОРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ӨРЕКШЕЛІГІНІҢ ӨСЕРІ .....	397
<b>З.А. Сатбаева, А. Мәуліт, А. Аманов, А.С. Рүстемов</b> ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЭЛЕКТРОЛИТА НА МИКРОСТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 45 ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ.....	405
<b>В. Rakhadilov, R. Kussainov, Zh. Bakyt, Ye. Naimankumaruly, R. Kurmangaliev</b> APPLICATION OF ELECTROLYTE BASED ON SODIUM CARBONATE FOR ELECTROLYTE- PLASMA SURFACE HARDENING OF STEEL 45.....	414
<b>АВТОРЛАРҒА АРНАЛҒАН ЕРЕЖЕ.....</b>	425
<b>ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ.....</b>	430
<b>RULES FOR AUTHORS.....</b>	435

Басуға жіберілген күні 29.09.2024 ж. Пішімі 60x84 1/8  
Шартты баспа табағы 27,8  
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: «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғам

Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің  
баспаханасында басылды

---

Редакцияның мекен-жайы: 071412, Абай облысы,  
Семей қаласы, ул. Глинки, 20 А  
Тел.: +7 (7222) 31-32-49, эл.почта: rio@semgu.kz