

ЖУМАДИЛОВА ГУЛЬМИРА АМАНГАЗЫЕВНА
ЖАБДЫҚТЫ ҚҰРАСТЫРУ МАҚСАТЫНДА ПРОБИОТИКТЕРДІ
КАПСУЛДАНҒАН ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Жумадилова Гульмира Амангазыевнаның 6D072400 «Технологиялық
машиналар мен жабдықтар» мамандығы бойынша философия
докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертациялық жұмысына

АҢДАТПА

Жұмыстың өзектілігі. Қазақстан Республикасы Тұңғыш Президентінің Қазақстан халқына Жолдауында еліміздің экономикасын дамытудың басым бағыттарының бірі ауыл шаруашылығы өнімдерін өндіру болып табылады. «Шикізатты қайта өңдеуді қамтамасыз ету және жоғары сапалы дайын өніммен әлемдік нарыққа шығу қажет. Барлық агроөнеркәсіп кешенін осы міндетті шешуге түбегейлі қайта бағдарлау маңызды... Қазіргі заманғы денсаулық сақтау қымбат тұратын стационарлық емге емес, аурулардың алдын алуға көбірек бағдарлануы тиіс...».

Адам денсаулығы, оның өмірінің сапасы сияқты көп жағдайда тұтынылатын тағамның сапасымен анықталады. Тағамда адам ағзасының қалыпты жұмыс істеуі үшін барлық қажетті заттар болуы тиіс. Қазіргі уақытта теңгерілмеген тамақтануға, аз қозғалатын өмір салтына және бұзылған режимге байланысты көптеген адамдар асқазан-ішек жолдарының ауруларымен ауырады.

Соңғы кезде адамның иммунитетін арттыру және қолдау мақсатында пробиотиктер кеңінен қолданылады, өйткені олар адамның микрофлорасына жақсы әсер етеді. Пробиотиктердің адам ағзасына пайдалы әсері пробиотиктер құрамына кіретін микроорганизмдердің оң қасиеттерімен анықталады. Алайда, микроорганизмдер асқазан сөлінің агрессивтік ортасында жойылады, яғни пробиотиктер өз қызметін жоғалтады.

Қышқыл сүт бактерияларының, оның ішінде пробиотиктердің қажетті пайдалы қасиеттерін сақтау үшін оларды ішекте еритін капсулаларға орналастыру қажет. Капсулаға пробиотиктерді орналастыру оларды асқазанның қышқылдық ортасынан қорғауға мүмкіндік береді, осылайша функционалды өнімдердің жаңа технологияларын алуға болады. Бұл ретте асқазандағы қышқыл орта капсулаларды 2 сағаттан артық бұзбауы тиіс, бірақ капсула ішекке түскенде, ол 7 минутқа шыдамай еруі мүмкін. Еріген капсула сыртқа қажетті пайдалы заттарды шығарады.

Бүгінгі таңда капсулаларды қолмен алу тәсілдері кеңінен қолданылады, бірақ бұл процесс өте ұзақ, қиындық туғызатын болғандықтан, тиімділігі төмен және шығынды болып табылады.

Жоғарыда айтылғандар негізінде, пробиотиктері бар ішек еритін тігіссіз капсулаларды алу процесін автоматтандыруға мүмкіндік беретін функционалдық өнімнің капсуласын (атап айтқанда, пробиотиктер) алу үшін жабдықты құрастыру қажеттілігі туралы міндет қойылды.

Диссертациялық жұмыс «Рациональное использование природных ресурсов, переработка сырья и продукции», басым бағыты бойынша ҚР БҒМ қаржыландыратын ғылыми грант шеңберінде, «Технологии глубокой переработки сырья и продукции» тақырыбы бойынша «Научно-практическое обоснование использования инкапсулированных синбиотических препаратов, обладающих иммуностимулирующей активностью, в производстве молочных продуктов» басым бағыты бойынша (2015-2017 ж.ж., мемлекеттік тіркеу № 0115PK01199) орындалды.

Зерттеу нысандары: Капсуландыруға арналған жабдық, капсуландыруға арналған жабдықтың жұмысшы органдары, гель тәріздес қоспаның сулы ерітіндісі, капсулалар.

Зерттеу пәні. Гель тәріздес қоспаның реологиялық және математикалық модельдері, капсулаларды алу процесінің Тәжірибеалды зерттеу нәтижелері, тігіссіз капсулаларды алу процесінің заңдылықтары.

Зерттеудің мақсаты мен міндеттері. Диссертациялық жұмыстың мақсаты пробиотиктермен тамшылы әдіспен тігіссіз капсулалар алу үшін жабдықты құрастыру болып табылады.

Мақсатқа сәйкес зерттеудің келесі міндеттері анықталды:

1. Капсуландыруға арналған жабдық құрылымын талдау;
2. гель тәріздес қоспаның реологиялық және математикалық модельдерін әзірлеу;
3. пробиотиктерді капсуляциялауға арналған қондырғыны әзірлеу және дайындау;
4. қондырғының конструктивтік параметрлеріне байланысты техникалық сипаттамаларды зерттеу және жұмыс режимін таңдау;
5. пробиотиктерді инкапсулдау үшін жабдықтың жұмыс органдарын есептеудің инженерлік әдістемесін әзірлеу;
6. «Федеральный Алтайский научный центр агроботехнологий» Федералды мемлекеттік бюджеттік ғылыми мекемесі, Барнаул қаласындағы ЖШҚ «Экспериментальный сыродельный завод» және Семей филиалында ЖШС «Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» зерттеулер нәтижелерін енгізу және қондырғыны өндірістік апробациялау.

Жұмыстың негізгі мазмұны. Диссертация бес тараудан, онда барлық қойылған міндеттер жүйелі түрде шешіліп, пайдаланылған әдебиеттер тізімі мен қосымшалардан тұрады.

Ғылыми-техникалық әдебиетке шолуда капсуландыру процесінің әдістері қарастырылып, талданды, матрицаны капсуланған өнімнің қабықшасына әртүрлі технологиялар қорытындысы келтірілген, сонымен қатар капсулауға және түйіршіктеуге арналған жабдықтардың құрылымдық ерекшеліктері бойынша әдеби деректерге аналитикалық шолу жүргізілді.

Зерттеу әдістері. Екінші тарауда зерттеу әдістерін ұйымдастыру, объектілер ұсынылған. Тәжірибе жүргізу сұлбасы әзірленді. Тәжірибелік зерттеулер 5 рет қайталанып жүргізілді. Ғылыми жұмысты орындау кезінде зерттеудің жалпы қабылданған және стандартты әдістерінің кешені қолданылды: физика-химиялық, құрылымдық-механикалық, органолептикалық, заманауи талдау құралдарын (Брукфельд аналогтық вискозиметрі, капсулалардың беріктігін анықтауға арналған тәжірибелік қондырғы, биолам Р-11 оптикалық микроскоп, «JEOL» (Жапония) фирмасының «JSM-6390LV» (РЭМ) төмен вакуумды растрлық электронды микроскоп (РЭМ), «OCA ENERGY 250» рентгендік микроскоп (Жапония), «OXFORD INSTRUMENTS» фирмасының «INCA ENERGY 250» рентгендік (Ұлыбритания)). Зерттеу нәтижелері MathCad 2000 және Microsoft Excel бағдарламаларын қолдана отырып, статистикалық талдау және математикалық модельдеу әдістерімен өңделген.

Теоретикалық бөлім. Диссертацияның 3-ші тарауында гель тәріздес қоспаның су ерітіндісінің қондырғының жұмыс органдарымен өзара әрекеттесуінің реологиялық және математикалық модельдері әзірленді, сондай-ақ капсула алу үшін жабдықтың жұмыс органдарын есептеудің инженерлік әдістемесі әзірленді. Цилиндрлік арнада сұйықтық қозғалысының математикалық моделінің нақтылығына тексеру жүргізілді. Капсула алу үшін жабдықтың операторлық және технологиялық сызбасы әзірленді.

Диссертацияның тәжірибелік бөлімінде капсула алу процесінің тәжірибелік зерттеу нәтижелері қаралды, гель тәріздес ерітіндісіне кіретін компоненттердің тиімді арақатынасы, ерітіндінің жұмысшы температурасы анықталды. Гель тәріздес қоспаның тұтқырлығы мен температурасының, инжекторлардың ішкі диаметрінің, перистальтикалық сорғының айналу жиілігінің жабдықтың өнімділігі мен энергетикалық сипаттамаларына әсері анықталды. Капсула алу үшін жабдықтың тиімді жұмысшы режимі анықталды.

5-тарауда пробиотиктерді капсуландыру үшін жабдықты енгізудің экономикалық тиімділігі есептелген. «Федеральный Алтайский научный

центр агробιοтехнологий» Федералдық мемлекеттік бюджеттік ғылыми мекемесі және Барнаул қаласындағы ЖШҚ «Экспериментальный сыродельный завод» және Семей қаласындағы «Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС жабдыққа өндірістік апробация өткізілді.

Қосымшада «Научно-практическое обоснование использования инкапсулированных синбиотических препаратов, обладающих иммуностимулирующей активностью, в производстве молочных продуктов» (2015-2017 жж., мемлекеттік тіркеу № 0115ҚР01199) гранттық тақырып бойынша ғылыми-зерттеу жұмысы туралы есеп, сынақ хаттамалары, өндірістік апробация актілері және жұмысшы сынақтарының актісі, пайдалы модельге ҚР патенттері ұсынылған.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы. Пайдалы модельге ҚР 9.10.2018 ж., № 3201 патентімен расталған пробиотиктерді капсуландыруға арналған жабдықтарды әзірлеу және дайындау. Гель тәріздес қоспаның математикалық және реологиялық модельдері әзірленді және гель тәріздес қоспаның жабдықтың жұмысшы органдарымен өзара әрекеттесу күштерінің қалыптасу заңдылықтары зерттелді. Жобаланған математикалық модельге талдау жасалды және ұсынылған құрылманы орнатудың дұрыс таңдалған параметрлері кезінде қондырғы жұмысының эксплуатациялық және технологиялық көрсеткіштерін жақсарту. Шикізаттың технологиялық сипаттамасынан және тәжірибетік жабдықтың техникалық параметрлерінен тігіссіз капсулаларды алу процесінің заңдылықтары анықталды. Алынған капсулалардың тұрақты құрылымдық-механикалық сипаттамалары мен технологиялық параметрлерін алуға мүмкіндік беретін ұсынылған құрылманың инжекторлары бар фильераны пайдалану кезінде ішекте еритін тігіссіз капсулаларды алудың ұтымды технологиялық режимдері тәжірибелік түрде анықталды.

Пайдалану аймағы: Ғылыми зерттеулердің нәтижелері мен әзірленген жабдықтар тамақ және фармацевтика өнеркәсібі кәсіпорындарында пайдалануға және таратуға ұсынылуы мүмкін.

Жұмыстың тәжірибелік маңызы: Капсула алу үшін жабдықтың жұмысшы органдарын есептеудің инженерлік әдістемесі әзірленді.

Капсула алу үшін жабдықтың тиімді жұмысшы режимі анықталды.

9.10.2018 ж. № 3202 пайдалы модельге ҚР патентімен расталған пробиотиктерді инкапсуляциялауға арналған жабдық әзірленді және жасалды.

Зерттеудің негізгі нәтижелері Барнаул қаласындағы «Федералды Алтай агробιοтехнологияғылыми орталығы» Федералдық мемлекеттік бюджеттік

ғылыми мекемесінде және Барнаул қаласындағы «Экспериментальный сыродельный завод» ЖШҚ-да және Семей қаласындағы «Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС-де өндірістік жағдайда сынақтан өткізілді.

Ұсынылған капсулдандыру технологиясын пайдаланудан жылдық экономикалық тиімділік 456 918 теңгені құрайды, капсулаларды өндіру бойынша әзірленген жабдықтың ақтау мерзімі 1,4 жылды құрайды.

Автордың жеке үлесі зерттеудің ғылыми мақсаты мен міндеттерін қоя білуде, патенттік және ғылыми әдебиеттерді іріктеу және талдауда, нәтижелерді өңдеу мен теориялық және тәжірибетік зерттеулер жүргізуде; диссертация тақырыбы бойынша жарияланымдарда; тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар жүргізу және нәтижелерді практикалық іске асыру болып табылады.

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың негізгі жағдайлары мен нәтижелері халықаралық ғылыми-практикалық конференциялар мен семинарларда баяндалған: Международный научный журнал «Молодой ученый» № 6.1 (140.1)/2017 (Казань); «VII Международная научно-техническая конференция «Казахстан – Холод 2017»» (Алматы, 2017); «VIII Международная научно-техническая конференция «Казахстан – Холод 2018»» (Алматы, 2018); «Materialsofthe XIII InternationalscientificandpracticalConferenceTrendsofmodernscience » (Sheffield, England, 2018); «Актуальные проблемы техники и технологии переработки молока» (Барнаул, 2018); «Пищевые инновации и биотехнологии: сборник тезисов VII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Том 1. Технологии пищевых производств, качество и безопасность» (Кемерово, 2019); «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств, Материалы XX Международной научно-практической конференции» (Барнаул, 2019).

Мақалалар. Диссертациялық жұмыстың тақырыбы бойынша 17 ғылыми жұмыс жарияланды, соның ішінде: 1 монография, нөлдік емес импакт-факторы бар ғылыми журналдарда (Scopus және Web of Science мәліметтер базасы) - 2 мақала; ғылыми журналдарда ҚР БҒМ БҒСБК тізіміне кіретін басылымдарда - 4 мақала, 8 мақала халықаралық конференция материалдарында және № 3202 от 9.10.2018 г. «Установка для производства капсулированных продуктов», №4286 от 09.09.2019 г. «Способ производства йогурта с инкапсулированными пробиотическими культурами» пайдалы модельге ҚР 2 патенті.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, ғылыми-техникалық және патенттік әдебиеттерді шолудан,

тәжірибелік зерттеу әдістемесінен, алынған нәтижелерді, қорытындыларды талқылаудан, 117 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс компьютерлік мәтіннің 111 беттерінде жазылып, 16 кестеден, 61 суреттен, 9 қосымшадан тұрады.

Диссертациялық жұмыс бойынша тұжырым.

Диссертациялық жұмыстың мақсатына сәйкес келесідей тұжырымдар жасауға болады:

1. Капсула алуға арналған жабдықтың құрылымын талдау, капсулаларды қолмен алу тәсілдерімен салыстырғанда ең тиімдісі капсула алу үшін бірқатар артықшылықтарға ие тамшылатып алу типті жабдықтарды әзірлеу болып табылатынын көрсетті.

2. Бюргерстің моделі болып табылатын гель тәріздес қоспаның реологиялық моделі әзірленді және сұйықтықтың инжекторлармен өзара әрекеттесу күштерінің қалыптасу заңдылықтары зерттелді.

3. Капсула алу процесіндегі гель тәріздес қоспаның математикалық моделі әзірленді, оның негізінде тәжірибелік жабдыққа арналған инжектордан гель тәріздес сұйықтықтың ағу функциясы және тәжірибе деректермен корреляцияланған арнадағы сұйықтықтың көлемдік шығыны теориялық түрде анықталған.

4. 9.10.2018 ж. №3202 пайдалы модельге ҚР патентімен расталған тігіссіз капсулалар алу үшін тәжірибелік жабдық әзірленді және құрастырылды.

5. Жабдықта капсула алу процесінің аналитикалық және тәжірибелік зерттеу негізінде: капсуланың құрылымдық-механикалық сипаттамалары мен гранулометриялық құрамының тәуелділігі, инжекторлар диаметрі мен қондырғының жұмыс режимдерінің энергетикалық шығындары анықталды.

6. Тігіссіз капсулаларды алу режимдері әзірленді, жылдам айналатын перистальтикалық сорғының ең тиімді параметрлері, гель тәріздес қоспаның температурасы және инжекторлардың ішкі диаметрі анықталды. Капсула алуға арналған қондырғының фильерін есептеу әдістемесі әзірленді.

7. Өндірістік сынақтар арқылы капсулаларды өндіруге арналған тәжірибелік қондырғы өнеркәсіптік үлгіні әзірлеу кезінде негіздеме болуы мүмкін.

8. Капсуландыруға арналған жабдықты енгізудің экономикалық тиімділігін есептеу кезінде капсула өндіру бойынша құрастырылған жабдықтың ақтау мерзімі 1,4 жылды және ұсынылған капсуландыру

технологиясын пайдаланудың жылдық экономикалық тиімділігі 456 918 теңгені құрайтынын көрсетті.

ЖУМАДИЛОВА ГУЛЬМИРА АМАНГАЗЫЕВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНКАПСУЛИРОВАНИЯ
ПРОБИОТИКОВ С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ**

АННОТАЦИЯ

на диссертационную работу PhD-докторанта Жумадиловой Г.А. на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D072400 – Технологические машины и оборудование

Актуальность работы. В послании первого Президента Республики народу Казахстана отмечается, что одним из приоритетных направлений развития экономики нашей Республики является производство сельскохозяйственной продукции. «Нужно обеспечить переработку сырья и выходить на мировые рынки с высококачественной готовой продукцией. Важно кардинально переориентировать весь агропромышленный комплекс на решение этой задачи.... Современное здравоохранение должно больше ориентироваться на профилактику заболеваний, а не на дорогостоящее стационарное лечение...».

Здоровье человека, как и качество его жизни во многом определяется качеством потребляемой пищи. Пища должна содержать все необходимые вещества для нормального функционирования организма человека. В наше время большое количество людей из-за несбалансированного питания, малоподвижного образа жизни и нарушенного режима страдают болезнями желудочно-кишечного тракта.

В последнее время в целях повышения и поддержания иммунитета человека, широко применяют пробиотики, так как они благотворно влияют на микрофлору человека. Благотворное влияние пробиотиков на организм человека определяется положительными свойствами микроорганизмов, входящих в состав пробиотиков.

Однако, микроорганизмы гибнут в агрессивной среде желудочного сока и, соответственно, пробиотики, теряют свою функциональность.

Чтобы сохранить необходимые полезные свойства кисломолочных бактерий, в том числе пробиотиков, необходимо поместить их в кишечнорастворимые капсулы. Помещение пробиотиков в капсулу позволяет защитить их от кислотной среды желудка, тем самым открывая путь к новейшим технологиям функциональных продуктов. При этом, кислотная среда в желудке не должна разрушать капсулы более 2 часов, но при попадании капсулы в кишечник, она должна раствориться, не выдержав и 7 минут. Разрушаясь, капсула будет выпускать наружу необходимые полезные вещества.

Способы получения капсул вручную, капельным методом, широко применяются на сегодняшний день, но данный процесс является очень трудоемким и долгим, соответственно, низкоэффективным и затратным.

На основании вышесказанного, была поставлена задача о необходимости разработки оборудования для получения капсул функционального продукта (в частности, пробиотиков), которое позволит автоматизировать процесс получения кишечнорастворимых бесшовных капсул с пробиотиками.

Диссертационная работа выполнялась в рамках научного гранта, финансируемого МОН РК по приоритетному направлению «Рациональное использование природных ресурсов, переработка сырья и продукции», предприоритету «Технологии глубокой переработки сырья и продукции» по теме «Научно-практическое обоснование использования инкапсулированных синбиотических препаратов, обладающих иммуностимулирующей активностью, в производстве молочных продуктов» (2015-2017 гг., № госрегистрации 0115РК01199).

Объект исследования. Оборудование для инкапсулирования, рабочие органы оборудования для инкапсулирования, водный раствор гелеобразующей смеси, капсулы.

Предмет исследования. Реологическая и математическая модели гелеобразующей смеси, результаты экспериментальных исследований процесса получения капсул, закономерности процесса получения бесшовных капсул.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка оборудования для получения бесшовных капсул с пробиотиками капельным методом.

В соответствии с целью были определены следующие задачи исследования:

1. анализ конструкции оборудования для инкапсулирования;
2. разработка реологической и математической моделей гелеобразующей смеси;
3. разработка и изготовление установки для инкапсулирования пробиотиков;
4. изучение технических характеристик в зависимости от конструктивных параметров установки и выбор режимов работы;
5. разработка инженерной методики расчета рабочих органов оборудования для инкапсулирования пробиотиков;
6. внедрение результатов исследований и производственная апробация установки в условиях Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», ООО «Экспериментальный сыродельный завод» г.

Барнаул и в Семейском филиале ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности».

Основное содержание работы. Диссертация состоит из пяти глав, в которой последовательно решаются все поставленные задачи, списка использованной литературы, приложений.

В обзоре научно-технической литературы рассмотрены и проанализированы методы процесса инкапсуляции, приведены различные технологии заключения матрицы в оболочку капсулируемого продукта, а также проведен аналитический обзор литературных данных по конструктивным особенностям оборудования для капсулирования и гранулирования.

Методы исследования. Во 2-ой главе представлены организация, объекты и методы исследований. Разработана схема проведения эксперимента. Экспериментальные исследования проводились в 5 кратных повторениях. При выполнении научной работы использован комплекс общепринятых и стандартных методов исследований: физико-химических, структурно-механических, органолептических с использованием современных аналитических приборов (аналоговый вискозиметр Брукфелда, экспериментальная установка для определения прочности капсул, оптический микроскоп БИОЛАМ Р-11, низковакуумный растровый электронный микроскоп (РЭМ) «JSM-6390LV» фирмы «JEOL» (Япония) в комплекте с системой рентгеновского микроанализа «INCA ENERGY 250» фирмы «OXFORD INSTRUMENTS» (Великобритания)). Результаты исследований обработаны методами статистического анализа и математического моделирования с применением программ MathCad 2000 и Microsoft Excel.

Теоретическая часть. В 3-ей главе диссертации разработаны реологическая и математическая модели взаимодействия водного раствора гелеобразующей смеси с рабочими органами установки, а также разработана инженерная методика расчета рабочих органов оборудования для получения капсул. Проведена проверка адекватности математической модели движения жидкости в цилиндрическом канале. Разработаны операторная и технологическая схемы оборудования для получения капсул.

В экспериментальной главе диссертации рассмотрены результаты экспериментальных исследований процесса получения капсул, определены оптимальное соотношение компонентов входящих в раствор гелеобразователя, рабочая температура раствора. Установлено влияние вязкости и температуры гелеобразующей смеси, внутреннего диаметра инжекторов, частоты оборотов перистальтического насоса на

производительность и энергетические характеристики оборудования. Определен рациональный режим работы оборудования для получения капсул.

В 5-ой главе рассчитан экономический эффект внедрения оборудования для инкапсулирования пробиотиков. Проведены промышленная апробация оборудования и производственные испытания в условиях Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» и ООО «Экспериментальный сыродельный завод» г. Барнаул и промышленная апробация в ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» г. Семей.

В приложении представлены отчет о научно-исследовательской работе по грантовой теме «Научно-практическое обоснование использования инкапсулированных синбиотических препаратов, обладающих иммуностимулирующей активностью, в производстве молочных продуктов» (2015-2017 гг., № госрегистрации 0115РК01199), протокола испытаний, акты промышленной апробации и акт рабочих испытаний, патенты РК на полезную модель.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и изготовлении оборудования для инкапсулирования пробиотиков, подтвержденной патентом РК на полезную модель № 3202 от 9.10.2018 г. Разработана математическая и реологическая модели гелеобразующей смеси и изучены закономерности формирования сил взаимодействия гелеобразующей смеси с рабочими органами установки. Выполнен анализ разработанной математической модели и улучшения эксплуатационных и технологических показателей работы установки при правильно подобранных параметрах установки предлагаемой конструкции. Выявлены закономерности процесса получения бесшовных капсул от технологических характеристик сырья и технических параметров экспериментальной установки. Экспериментально определены рациональные технологические режимы получения кишечнорастворимых бесшовных капсул при использовании фильеры с инжекторами предлагаемой конструкции, позволяющие получить стабильные структурно-механические характеристики и технологические параметры получаемых капсул.

Область применения: результаты научных исследований и разработанное оборудование могут быть рекомендованы к использованию и реализации на предприятиях пищевой и фармацевтической промышленности.

Практическая ценность работы.

Разработана инженерная методика расчета рабочих органов оборудования для получения капсул.

Определен рациональный режим работы оборудования для получения капсул.

Разработана и изготовлена установка для инкапсулирования пробиотиков, подтвержденная патентом РК на полезную модель № 3202 от 9.10.2018 г.

Основные результаты исследования апробированы в производственных условиях в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» и ООО «Экспериментальный сыродельный завод» г. Барнаул и в ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» г. Семей.

Годовой экономический эффект от использования предлагаемой технологии инкапсулирования составит 456 918 тенге, срок окупаемости разработанного оборудования по производству капсул составляет 1,4 года.

Личный вклад автора заключается в постановке научной цели и задач исследования, в подборе и анализе патентной и научной литературы, в проведении теоретических и экспериментальных исследований и обработке результатов; в публикациях по теме диссертации; в проведении опытно-промышленных испытаний и практической реализации результатов.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены на международных научно-практических конференциях и семинарах: Международный научный журнал «Молодой ученый» № 6.1 (140.1) / 2017 (Казань); «VII Международная научно-техническая конференция «Казахстан – Холод 2017»» (Алматы, 2017); «VIII Международная научно-техническая конференция «Казахстан – Холод 2018»» (Алматы, 2018); «Materials of the XIII International scientific and practical Conference Trends of modern science » (Sheffield, England, 2018); «Актуальные проблемы техники и технологии переработки молока» (Барнаул, 2018); «Пищевые инновации и биотехнологии: сборник тезисов VII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Том 1. Технологии пищевых производств, качество и безопасность» (Кемерово, 2019); «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств, Материалы XX Международной научно-практической конференции» (Барнаул, 2019).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликованы 17 научных работ, в том числе: 1 монография, 2 статьи в научных журналах с ненулевым импакт-фактором (базы данных Scopus и Web of Science), 4 статьи в научных журналах в изданиях из перечня ККСОН МОН РК, 8 статей в материалах международных конференций и 2 патента на полезную модель

РК - № 3202 от 09.10.2018 г. «Установка для производства капсулированных продуктов», № 4286 от 09.09.2019 г. «Способ производства йогурта с инкапсулированными пробиотическими культурами».

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, обзора научно-технической и патентной литературы, методики экспериментальных исследований, обсуждения полученных результатов, выводов, списка использованных источников, включающих 117 наименований. Работа изложена на 111 страницах компьютерного текста, содержит 16 таблиц, 61 рисунок, 9 приложений.

Выводы по диссертационной работе.

В соответствии с поставленной целью диссертационной работы можно сделать выводы:

1. Анализ конструкций установок для получения капсул показал, что наиболее перспективными для получения капсул является разработка установок капельного типа, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с остальными видами установок для получения капсул.

2. Разработана реологическая модель гелеобразующей смеси, представляющая собой модель Бюргерса и изучены закономерности формирования сил взаимодействия жидкости с инжекторами.

3. Разработана математическая модель гелеобразующей смеси в процессе получения капсул, на основании которой теоретически определены функция течения гелеобразной жидкости из инжектора для экспериментальной установки и объемный расход жидкости в канале, которые коррелируются экспериментальными данными.

4. Разработано и изготовлено экспериментальное устройство для получения бесшовных капсул, подтвержденное патентом РК на полезную модель №3202 от 9.10.2018г.

5. На основе аналитических и экспериментальных исследований процесса получения капсул на оборудовании установлены: зависимости структурно-механических характеристик и гранулометрического состава капсул, энергетических потерь от диаметра инжекторов и режимов работы установки.

6. Разработаны режимы получения бесшовных капсул, установлены оптимальные параметры частоты вращения перистальтического насоса, температура гелеобразующей смеси и внутренний диаметр инжекторов. Разработана методика расчета фильтры установки для получения капсул.

7. Производственными испытаниями установлено, что экспериментальная установка для производства капсул может являться основанием при разработке промышленного образца.

8. Расчет экономической эффективности внедрения оборудования для инкапсулирования показал, что срок окупаемости разработанного оборудования по производству капсул составляет 1,4 года, годовой экономический эффект от использования предлагаемой технологии инкапсулирования составит 456 918 тенге.

ZHUMADILOVA GULMIRA AMANGAZYEVNA

**RESEARCH OF THE PROBIOTICS INCAPSULATION PROCESS FOR
THE EQUIPMENT CREATION PURPOSE**

ANNOTATION

The thesis paper of PhD doctoral student Zhumadilova G.A. for the degree of Doctor of Philosophy (PhD), specialty 6D072400 - Technological machines and equipment

The relevance of the work. The message of the first President of the Republic to the people of Kazakhstan states that one of the priority areas for the development of our Republic economy is the production of agricultural products. “We need to ensure the processing of raw materials and enter global markets with high-quality finished products. It is important to radically re-orient the entire agro-industrial complex to solve this problem Modern healthcare should focus more on disease prevention rather than expensive inpatient treatment ... ”.

Human health, as well as the life quality, is usually determined by the quality of food consumed. Food should contain all the necessary substances for the normal functioning of the human body. Nowadays, a large number of people due to an unbalanced diet, a sedentary lifestyle and an impaired regime suffer from diseases of the gastrointestinal tract.

In these days, probiotics are in wide use in order to increase and maintain human immunity, because they have a beneficial effect on human microflora. The beneficial effect of probiotics on the human body is determined by the positive properties of the microorganisms that are part of probiotics.

However, microorganisms die in the aggressive environment of gastric juice and, accordingly, probiotics lose their functionality.

To preserve the necessary beneficial properties of sour milk bacteria, including probiotics, it is necessary to place them in gastro-resistant capsules. Putting probiotics in a capsule allows to protect them from the acidic environment of the stomach, and open the way to the latest functional products technologies. At the same time, the acidic environment in the stomach should not destroy the capsules for more than 2 hours, but when the capsule enters the intestines, it must dissolve during 7 minutes, approximately. When dissolved, the capsule will release the necessary useful substances.

The methods for producing capsules manually by the drop method are widely used today, but this process is very laborious and time consuming, which means - low efficient and costly.

Based on the foregoing, was set the task to develop equipment for producing functional product capsules (probiotics, in particular), which will automate the process of obtaining gastro-resistant seamless capsules with probiotics.

The research work was carried out within the framework of a scientific grant funded by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan in the priority direction "Rational use of natural resources, processing of raw materials and products", the sub-priority - "Technologies for advanced processing of raw materials and products" on the topic "Scientific and practical justification for the use of encapsulated synbiotic preparations with immunostimulating activity, in the production of dairy products "(2015-2017, state registration number 0115PK01199).

Object of study. Equipment for encapsulation, working bodies for encapsulation, an aqueous solution of a gel-forming mixture, capsules.

Subject of study. The rheological and mathematical models of the gel-forming mixture, the results of experimental studies of the capsule production process, the patterns of the seamless capsules production.

The purpose and objectives of the study. The aim of the thesis is the development of equipment for the production of seamless capsules with probiotics using drop method.

In accordance with the set goal, the following research tasks were identified:

1. analysis of the design of encapsulation equipment;
2. development of rheological and mathematical models of the gel-forming mixture;
3. development and manufacture of an installation for probiotics encapsulation;
4. study of technical characteristics depending on the design parameters of the installation and the determination of operating modes;
5. development of an engineering methodology for calculating the working bodies of equipment for probiotics encapsulation;
6. implementation of research results and production testing of the installation in the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies", LLC "Experimental Cheesemaking Plant" in Barnaul and in the Semey branch of "Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry" LLP.

The main content of the work. The dissertation consists of five chapters, where all the tasks set are successively solved, a list of used literature and appendices.

In a review of the scientific and technical literature, the methods of the encapsulation process are reviewed and analyzed, various technologies for encapsulating the matrix of the encapsulated product are presented, and an analytical review of the literature on the design features of encapsulation and granulation equipment is carried out.

Research Methods. The second chapter presents the organization, objects and research methods. An experimental design has been developed. Experimental studies were carried out in 5 repetitions. When performing scientific work, a set of generally accepted and standard research methods was used: physicochemical, structural-mechanical, organoleptic using modern analytical instruments (Brookfield analog viscometer, experimental setup for determining the strength of capsules, BIOLAM R-11 optical microscope, low-vacuum scanning electron microscope “JSM-6390LV” of the “JEOL” company (Japan) in a set with the X-ray microanalysis system “INCA ENERGY 250” of “OXFORD INSTRUMENTS” (Great Britain). The research results were processed by methods of statistical analysis and mathematical modeling using the programs MathCad 2000 and Microsoft Excel.

Theoretical part. In the 3rd chapter of the dissertation, a rheological and mathematical model for the interaction of an aqueous solution of a gel-forming mixture with the working bodies of the installation is developed, and developed an engineering method for calculating the working bodies of equipment for producing capsules. The adequacy of the mathematical model of fluid motion in a cylindrical channel was verified. The operational and technological schemes of capsules producing equipment have been developed.

In the experimental chapter of the dissertation, the results of experimental studies of the capsule production process are considered, and the optimal ratio of the components of the gel-forming agent solution, the working temperature of the solution are determined. The influence of the viscosity and temperature of the gel-forming mixture, the inner diameter of the injectors, and the speed of the peristaltic pump on the performance and energy characteristics of the equipment is established. The rational mode of operation of the equipment for producing capsules is identified.

In the 5th chapter, the economic effect of introducing equipment for encapsulating probiotics is calculated. Industrial testing of equipment and production tests were conducted under the conditions of the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies” and

LLC “Experimental Cheese-Making Plant” in Barnaul. The industrial testing was conducted in LLP “Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry”, in Semey.

The appendix presents the report on research work on the grant topic "Scientific and practical justification for the use of encapsulated synbiotic preparations with immunostimulating activity, in the production of dairy products "(2015-2017, state registration number 0115PK01199) and also test reports, acts of industrial testing and the act of working tests, patents of the Republic of Kazakhstan for a utility model.

The scientific novelty of the thesis consists in the development and manufacture of equipment for the probiotics encapsulation, protected by the patent of the Republic of Kazakhstan for utility model No. 3202 dated October 9, 2018. Mathematical and rheological model of the gel-forming mixture is developed and the laws of formation of the forces of interaction of the gel-forming mixture with the working bodies of the installation are studied. The analysis of the developed mathematical model and the improvement of operational and technological parameters of the installation with the correctly selected installation parameters of the proposed design is performed. The regularities of the process of obtaining seamless capsules from the technological characteristics of raw materials and the technical parameters of the experimental installation are revealed. The rational technological modes of obtaining gastro-resistant seamless capsules were experimentally determined using a die with injectors of the proposed design, which made it possible to obtain stable structural and mechanical characteristics and technological parameters of the capsules.

Areas of use: the results of scientific research and developed equipment can be recommended for use and implementation at the enterprises of the food and pharmaceutical industries.

The practical value of the work.

An engineering technique for calculating the working bodies of equipment for producing capsules has been developed.

The rational mode of operation of the equipment for producing capsules is identified.

A setup for encapsulating probiotics was developed and manufactured, protected by the patent of the Republic of Kazakhstan for utility model No. 3202 dated October 9, 2018.

The main results of the study were tested under production conditions in the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies”, LLC “Experimental Cheese Making Plant” in Barnaul and

in the LLP “Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry” in Semey.

The annual economic benefit from the use of the proposed encapsulation technology will be 456 918 tenge, the payback period of the developed equipment for the production of capsules is 1.4 years.

The personal contribution of the author is in the formulation of the scientific goal and objectives of the study, in the selection and analysis of patent and scientific literature, in the conduct of theoretical and experimental research and processing of results; in publications on the topic of the dissertation; in conducting pilot tests and practical implementation of the results.

Approbation of work. The main provisions and results of the thesis were reported at international scientific conferences and seminars: “The international scientific journal“ Young Scientist” No. 6.1 (140.1)/ 2017 (Kazan); “VII International Scientific and Technical Conference “Kazakhstan - Kholod 2017” (Almaty, 2017); “VIII International Scientific and Technical Conference “Kazakhstan - Kholod 2018” (Almaty, 2018); “Materials of the XIII International scientific and practical Conference “Trends of modern science” (Sheffield, England, 2018); “Actual problems of machinery and technology for milk processing” (Barnaul, 2018);“Food innovations and biotechnologies: a collection of abstracts of the VII International Scientific Conference of students, graduate students and young scientists. Volume 1. Food production technologies, quality and safety ”(Kemerovo, 2019); “Modern problems of engineering and technology of food production, Materials of the XX International Scientific and Practical Conference” (Barnaul, 2019).

Publications. On the topic of thesis work, 17 scientific papers were published, including: 1 monograph, 2 articles in scientific journals with non-zero impact factor (Scopus and Web of Science databases),4 articles in scientific journals in publications from the list of KKSON MES RK, 8 articles in materials of international conferences and 2 patents for utility model of the Republic of Kazakhstan No. 3202 dated October 9, 2018 «Installation for the production of encapsulated products»; No. 4286 dated September 9, 2019 «Method for producing yogurt with encapsulated probiotic cultures».

The structure and scope of the dissertation. The thesis consists of an introduction, a review of scientific, technical and patent literature, experimental research methods, discussion of the results, conclusions, a list of sources used, including 117 items. The work is presented on 111 pages of computer text, contains 16 tables, 61 figures, 9 appendices.

Conclusions on the thesis.

In accordance with the goal of the thesis, the main conclusions are made:

1. Analysis of the different plants designs for capsules production showed that the most promising technology for the production of capsules is the development of drop plants, which have a number of advantages compared to other types of plants for producing capsules.

2. A rheological model of the gel-forming mixture was developed, on a basis of Burgers model, and the laws of formation of the forces for interaction of the liquid with the injectors were studied.

3. A mathematical model of the gel-forming mixture in the process of capsules production was developed. Based on this model, were theoretically determined the flow function of a gel-like liquid from an injector of the experimental installation and also the volumetric flow rate in the channel, which are correlated with obtained experimental data.

4. An experimental installation for producing seamless capsules was developed, manufactured, and protected by the patent of the Republic of Kazakhstan for utility model No. 3202 dated October 9, 2018.

5. On the basis of analytical and experimental studies of the process of producing capsules on the equipment, the following were established: the dependence of the structural and mechanical characteristics and granulometric composition of the capsules, the dependence of energy losses on the diameter of the injectors and operating conditions of the installation.

6. Modes of production of seamless capsules are developed, optimum parameters of frequency of rotation of the peristaltic pump, temperature of a gel-forming mix and internal diameter of injectors are established. The method of calculating the die of the installation for obtaining capsules is developed.

7. Production tests found that the experimental installation for the production of capsules may be the basis for the development of an industrial design.

8. The calculation of the economic efficiency of the introduction of encapsulation equipment showed that the payback period of the developed capsule production equipment is 1.4 years, the annual economic effect of using the proposed encapsulation technology will be 456 918 tenge.

