

Государственный университет имени Шакарима города Семей

УДК 615.45: 672.81.05

На правах рукописи

Жумадилова Гульмира Амангазыевна

**Исследование процесса инкапсулирования пробиотиков
с целью создания оборудования**

6D072400 – Технологические машины и оборудование

Диссертация на соискание учёной степени доктора (PhD)

Научный консультант:
Какимов А.К., д.т.н., профессор,
ГУ имени Шакарима города Семей,
Республика Казахстан, г. Семей;

Зарубежный научный консультант:
Майоров А.А.,
д.т.н., профессор, Федеральное
Государственное Бюджетное
Научное Учреждение
«Федеральный Алтайский научный
центр агробiotехнологий», г.
Барнаул

Республика Казахстан
Семей - 2019

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	5
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	6
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	8
ВВЕДЕНИЕ	9
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ИНКАПСУЛИРОВАНИЯ В ПИЩЕВОЙ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	14
1.1 Технологии капсулирования	14
1.1.1 Технология инкапсулирования лекарственных препаратов	14
1.1.2 Технологии инкапсуляции в пищевой промышленности	15
1.1.3 Включение в матрицу и инкапсуляция	15
1.2 Методы капсулирования	16
1.2.1 Дражирование	16
1.2.2 Метод капсулирования в псевдооживленном слое	17
1.2.3 Распылительная сушка	17
1.2.4 Распылительная заморозка	18
1.2.5 Распыление	19
1.2.6 Экструзия	20
1.2.7 Со-экструзия	20
1.2.8 Коацервация	21
1.2.9 Методы при формировании гелевых микросфер	22
1.2.10 Способ получения аналога рыбной икры	23
1.3 Устройства для капсулирования	24
1.3.1 Автоматическая установка для производства гранулированных продуктов	24
1.3.2 Устройство для производства бесшовных наполненных капсул	25
1.3.3 Устройство для получения капсулированных продуктов	27
1.3.4 Устройство для приготовления пищевой зернистой икры	28
1.3.5 Оборудование для изготовления капсул капельным методом	29
1.3.6 Автоматы для изготовления капсул ротационно-матричным методом	30
1.3.7 Оборудование для производства бесшовных желатиновых капсул	31
1.3.8 Заключение по обзору литературы	32
Выводы по 1 главе	32
1.4 Постановка задач исследований	32
2 ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	34
2.1 Постановка эксперимента, исследование факторов, влияющих на процесс получения капсул	34
2.2 Процесс инкапсулирования пробиотиков в водный раствор гелеобразующей смеси	36

2.3	Описание экспериментальной установки (установка для капсулирования)	37
2.4	Приборы и методика экспериментов	42
2.4.1	Определение вязкости водного раствора гелеобразующей смеси	42
2.4.2	Определение гранулометрического состава капсул	44
2.4.3	Определение упругопластической деформации капсул	45
2.4.4	Методика пробоподготовки капсул и измерения диаметра инжекторов	46
2.4.5	Определение энергетических характеристик экспериментальной установки (установка для капсулирования)	47
	Выводы по 2 главе	48
3	ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ	49
3.1	Обоснование и выбор конструкции оборудования	49
3.2	Расчет движения гелеобразующей смеси в цилиндрическом канале	51
3.3	Разработка операторной и технологической схем установки для капсулирования	54
3.4	Образование капель на инжекторе	57
3.5	Разработка инженерной методики расчета рабочих органов оборудования для инкапсулирования пробиотиков	59
3.6	Проверка адекватности математической модели	61
	Выводы по 3 главе	63
4	ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАПСУЛ И РАБОЧИХ ОРГАНОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИНКАПСУЛИРОВАНИЯ	65
4.1	Влияние температуры на вязкость водного раствора гелеобразующей смеси	65
4.2	Влияние процентного соотношения водного раствора гелеобразующей смеси на формы и размеры капсул	81
4.3	Влияние внутреннего диаметра инжектора на диаметр капсул	84
4.4	Влияние частоты оборотов перистальтического насоса и вязкости гелеобразующей смеси на производительность установки	85
4.5	Определения прочности капсул	87
4.6	Определение энергетических характеристик установки	89
4.7	Определение рационального режима получения капсул	89
	Выводы по экспериментальной части	90
5	ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И АПРОБАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИНКАПСУЛИРОВАНИЯ ПРОБИОТИКОВ	92
5.1	Экономическая эффективность внедряемого оборудования	92
5.2	Производственные испытания и внедрение результатов исследований	98

Выводы	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	101
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	103
ПРИЛОЖЕНИЯ	112

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Настоящая диссертационная работа выполнена в соответствии с государственным стандартом ГОСТ 7.32-2001 «Отчет о научно-исследовательской работе». Структура и правила оформления выполнены по ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р ИСО 22935-3-2011 Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 3.

ГОСТ 2.701-2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

ГОСТ 8.417-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

ГОСТ 2.793-79 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах элементы и устройства машин и аппаратов химических производств.

ГОСТ 16504-81 Испытания и контроль качества продукции

СТ РК 1010-2002 Продукты пищевые. Информация для потребителя. Общие требования.

СТ РК 1623-2007 Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка.

2006 Государственная система технического регулирования Республики Казахстан. Основные положения.

ISO 5534|IDF 4:2004 Стандарт определения массовой доли сухих веществ. Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Утвержден решением Комиссии Таможенного Союза от 9 декабря 2011 г. № 880. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции" (ТР ТС 033/2013). Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 9 октября 2013 г. № 67.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Вязкость – признак текучего вещества препятствовать передвижению его составных частей относительно друг друга.

Гранулометрический состав – упорядочивание массы по фракциям относительно размера частиц.

Инжектор – механический компонент поставки жидкости, точечный способом.

Инкапсулирование — физико-химическая либо механическая процедура размещения малых частей субстанции (во всех агрегатных состояниях) в оболочку из пленкообразующего материала с целью выработки частиц с различным диаметром (нанометр, миллиметр)

Иммобилизация — присоединение клеток микроорганизмов, ферментов к нерастворимым носителям.

Кишечнорастворимые капсулы – капсулы с трансформированным высвобождением, способные сохранять устойчивость в желудочном соке и опорожняться в кишечнике. Существует 2 способа изготовления данных капсул: нанесение кислостойчивой оболочки на капсулы (твердые, мягкие); наполнение гранулами с кислостойчивой оболочкой.

Оборудование — прибор, машина, аппаратура. Оборудование – комплекс (система) управляемых машин, работающих как единый механизм.

Поверхностное натяжение – прочность, направленная на удержание целостности, устойчивости к разрушению поверхностной пленки жидкости, а также устойчивость к смешиванию поверхностной части жидкости и контактируемого вещества

Поток ламинарный - жидкое или газообразное вещество передвигается пластами, не перемешиваясь и без колебаний (без скачков скорости и давления).

Поток турбулентный – перемещение жидких или газообразных веществ, в основном и поперечном направлениях, при колебании скоростей течения, побуждающих перемешивание по пересечению.

Производительность оборудования – характеризуется объемом продукции, выпускаемой оборудованием за единицу времени, с учетом конструкции, технических характеристик, квалификации персонала.

Реология – установление характеристик неконвертируемых искажений и потоков разнообразных вязких и пластичных дисперсных систем.

Структура – комплекс стабильных связей объекта, позволяющий сохранять единство и однозначность при различных внешних и внутренних изменениях.

Структурно-механические характеристики – совокупность физических характеристик объекта в соответствии с биологическим и химическим составом и внутренним содержанием.

Технологическое оборудование – аппараты и оборудование, предназначенное для производства продукции и автоматического управления технологическими процессами. МДС 81-29.2001.

Установка – сочетание различных частей оборудования, включая реакционные сосуды и их системы, используемое для выработки, обработки, использования химиката.

Формообразующие вещества – вспомогательные компоненты, применяемые в качестве дисперсионных сред в производстве жидких лекарственных форм, наполнителей для твердых лекарственных форм (порошки, пилюли, таблетки и др.), основ для мазей, основ для суппозиторий.

Циркуляционное перемешивание – перемешивание, приводится в исполнение посредством принудительной циркуляции жидкости, с целью достижения турбулентности, вызывающей массообмен. К наиболее доступному способу циркуляционного перемешивания можно отнести циркуляцию в сосуде посредством простого перекачивания.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

m - масса бюксы без навески, г;
 m_1 - масса бюксы с навеской до высушивания, г;
 m_2 - масса бюксы с навеской после высушивания, г;
 P – сжимающая нагрузка, Н;
 d – диаметр капсулы, м;
 S – площадь нагружения, м²;
 f – укорочение в направлении действия усилия, м;
 h – высота капсулы после нагружения; м;
 $\Delta\gamma_M$ – деформация модели Максвелла;
 $\Delta\gamma_K$ - деформация модели Кельвина – Фойгта;
 $\dot{\gamma}$ - градиент скорости, с⁻¹;
 G_1 - модуль мгновенной эластичной деформации, Па;
 G_2 - модуль замедленной упругой деформации, Па;
 η_1 – ньютоновская вязкость, Па·с;
 η_2 –пластическая вязкость, Па·с;
 θ – касательное напряжение, Па;
ГОСТ – государственный стандарт;
ЖКТ – желудочно-кишечный тракт;
МОН РК – Министерство образования и науки Республики Казахстан;
СМХ – структурно-механические характеристики;
РЭМ – растровый электронный микроскоп;
БАД – биологически активная добавка.

ВВЕДЕНИЕ

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...» [1].

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.

Пищеварение человека - сложный процесс, сопровождающийся механической и химической переработкой получаемой пищи (измельчение, расщепление), в результате чего питательные вещества всасываются в кровь [2]. Ротовая полость, пищевод, желудок, кишечник и пищеварительные железы, все в совокупности образуют систему пищеварения [3], однако, необходимо учитывать особенности каждого отдельного органа пищеварительной системы при лечении или профилактике тех или иных заболеваний.

В последнее время в целях повышения и поддержания иммунитета человека, широко применяют пробиотики, так как они благотворно влияют на микрофлору человека. Пробиотики улучшают пищеварение, повышают устойчивость к инфекционным заболеваниям и проявляют терапевтический эффект при острых кишечных инфекциях [4].

Благотворное влияние пробиотиков на организм человека определяется положительными свойствами микроорганизмов, входящих в состав пробиотиков [5, 6]. В основном, состав пробиотиков включает представителей эндогенной флоры кишечника: бифидобактерии, кишечную палочку, энтерококков, лактобактерии и др. Они вносят существенный вклад в нормальное функционирование организма. Перечисленные микроорганизмы осуществляют самые разнообразные функции, включая антитоксические функции (блокирование токсинов и супероксидных радикалов), защиту от болезнетворных и избыточных условно-болезнетворных микробов, повышение иммунитета организма, синтез витаминов, продуцирование ферментов, всасывание необходимых веществ (минералы, газы, вода и пр.), поддержание здорового состояния слизистой кишечника и т.д. [7]. То есть, пробиотики позволяют не только поддерживать баланс бактериальной микрофлоры, но и оздоравливают весь организм в целом. Именно поэтому пробиотики широко используют для повышения метаболизма и улучшения обменных процессов,

защиты от аллергенов, токсинов, канцерогенов, профилактики инфекционных заболеваний и повышения иммунитета, для повышения эффективности медикаментов (бактериофагов, антибиотиков и др.) [8].

Однако, микроорганизмы, входящие в состав пробиотиков, гибнут в агрессивной среде желудочного сока и, соответственно, пробиотики, теряют свою функциональность [9].

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 [10, 11]. 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 [11, с. 33; 12, 13]. Разрушаясь, капсула будет выпускать наружу необходимые полезные вещества.

На сегодняшний день процесс инкапсулирования активно применяется в пищевой, химической отраслях. Использование микротехнологий в науке о пище и в биотехнологии является шагом для развития процесса инкапсуляции [11, с. 34; 14]. Инкапсулирование биологически активных веществ применяется в пищевой промышленности в целях регулирования окислительно-восстановительных реакций, получения сбалансированных вкусовых качеств, цвета и запаха [15, 16]. Благодаря инкапсулированию биологически активных веществ, можно повысить их эффективность, уменьшить токсичность и уравновесить в производстве пестицидов, а также в фармакологии [11, с. 34; 17, 18].

В процессе инкапсулирования биологически активных веществ, в том числе пробиотиков, чрезвычайно важно сохранить жизнеспособность и активность полезных микроорганизмов в кишечнике [19]. Капсулы должны пройти кислотную среду желудка, не растворившись. В кишечнике капсула с пробиотиками должна постепенно раствориться, т.е. высвободить содержимое во время активной работы кишечника [20].

Для инкапсулирования микроорганизмов пробиотиков создаются полимерные системы в виде капсул, содержащих клетки микроорганизмов [21]. Различают два типа процесса инкапсуляции - «резервуар» и «матрица». При использовании типа «резервуар» или «хранилища» - инкапсулируемое вещество покрывают тонким слоем инкапсулирующего материала, так называемой «оболочкой». При использовании типа «матрица», инкапсулируемый материал встраивается в матрицу вещества и может находиться как на поверхности, так и внутри инкапсулирующего вещества [11, с. 35; 16, с. 7].

Вопрос получения капсул высокого качества, с заданными свойствами и характеристиками, которые растворяются в необходимой среде, сохраняют свой терапевтический эффект, и к тому же, соответствуют требованиям потребителя (удобство использования, эффективность, приемлемая стоимость),

до сих пор остается открытым. Принимая во внимание ухудшение экологической обстановки, малоподвижный образ жизни, неправильное питание, недостаточность питания во многих регионах, направление по созданию капсулированных функциональных продуктов является актуальным направлением развития биотехнологии во всем мире.

Биологические, химические и физические свойства капсулированных функциональных продуктов определяются технологиями и оборудованием, используемыми для их производства.

Существует множество методов получения капсулированных функциональных продуктов, однако, немаловажным фактором при выборе технологии производства, является экономичность производственного процесса, простота эксплуатации, более низкая себестоимость конечного продукта при сохранении всех необходимых терапевтических, органолептических, функциональных качеств.

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.

Решение поставленных задач в данной работе основывается на изучении фундаментальных трудов А.В. Горбатова, В.В. Кафарова, G. Schramm, Н.Е. Федорова. Научно-методической основой настоящего исследования послужили труды ученых в области реологии пищевых масс, технологии пищевых производств, пищевого машиностроения, инкапсулирования, а именно П.Ф. Овчинникова, В.Д. Косого, Ю.А. Мачихина, С.А. Мачихина, В.Д. Солодовник, Е.В. Ильюшенко, А.К. Какимова, и др.

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) (Приложение А).

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 Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», ООО «Экспериментальный сыродельный завод» г. Барнаул и в Семейском филиале ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности».

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработке модели реологического тела – гелеобразующей смеси и изучении закономерности формирования сил взаимодействия гелеобразующей смеси с рабочими органами установки;
- разработке математической модели взаимодействия гелеобразующей смеси с рабочими органами установки;
- выполнении анализа разработанной математической модели и улучшении эксплуатационных и технологических показателей работы установки при правильно подобранных параметрах установки предлагаемой конструкции;
- разработке и изготовлении установки для инкапсулирования пробиотиков, подтвержденной патентом РК на полезную модель № 3202 от 9.10.2018 г. [22] (Приложение Б);
- выявлении закономерности процесса получения бесшовных капсул от технологических характеристик сырья и технических параметров экспериментальной установки;
- экспериментальном определении рациональных технологических режимов 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 в лабораторных условиях, на предприятиях пищевой и фармацевтической промышленности.

Практическая ценность работы:

- разработана инженерная методика расчета оборудования получения капсул с помощью фильеры с инжекторами предлагаемой конструкции;
- определены рациональные режимы технологического процесса получения капсул;
- разработано устройство для получения капсул, новизна которого подтверждена патентом РК на полезную модель № 3202 от 9.10.2018 г.;

– основные результаты исследования апробированы в производственных условиях Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», ООО «Экспериментальный сыродельный завод» г. Барнаул и в Семейском филиале ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности».

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. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 17 работах, в том числе в 1 монографии; 2 статьях в научных журналах с ненулевым импакт-фактором (базы данных Scopus и Web of Science); 4 статьях в научных журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан; в 8 материалах международных конференций; получено 2 патента РК на полезную модель № 3202 от 09.10.2018 г. «Установка для производства капсулированных продуктов» (Приложение Б); №4286 от 09.09.2019 г. «Способ производства йогурта с инкапсулированными пробиотическими культурами» (Приложение В).

Научные положения, выносимые на защиту:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований получения капсул на экспериментальной установке;
- полученные параметры рационального режима процесса инкапсулирования на предлагаемой установке и разработанные рекомендации по подготовке сырья;
- результаты инженерного расчета рабочих органов устройства для получения капсул.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Основное содержание работы изложено на 111 страницах текста компьютерного набора, включает 61 рисунок и 16 таблиц. Список использованной литературы состоит из 117 источников.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ИНКАПСУЛИРОВАНИЯ В ПИЩЕВОЙ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1.1 Технологии капсулирования

1.1.1 Технология инкапсулирования лекарственных препаратов

Основной проблемой производства многосоставных средств с определенными признаками является гарантирование безопасности и эффективности препарата. В настоящее время, инкапсуляция в оболочку является наиболее продуктивным способом координации свойств препаратов. Методы инкапсуляции активно используются в различных сферах производства, пищевой промышленности и фармацевтике [9, с. 132; 23].

Инкапсуляция (от лат. *capsula* — коробочка) – помещение мельчайших частиц плотного вещества, гранул, различных жидкостей в прочную оболочку с установленными характеристиками (пропускаемость, температура плавки, растворимость и др.). В фармацевтике существуют следующие технологии инкапсуляции: желатиновая инкапсуляция (капсулы большой величины – 5÷15 мм); микрокапсуляция (капсулы величиной - 10-1÷10-5 мм) [9, с.132; 24; 25].

Технологии инкапсуляции лекарственных препаратов применяются с целью:

- защиты лекарственных средств от влияния внешних факторов окружающей среды (витамины, антибиотики, ферменты, вакцины, сыворотки и др.);
- обеспечения опорожнения и растворения лекарственных препаратов в конкретной области ЖКТ (растворимые в кишечнике микрокапсулы);
- маскировки привкуса горьких и тошнотворных препаратов;
- увеличения времени действия лекарственного средства, т.е. удержание необходимого объема активного вещества в организме, его длительное продуктивное терапевтическое воздействие в следствии медленного высвобождения активного вещества в малых объемах;
- сочетания в одной капсуле несочетаемых в чистом составе лекарственных препаратов, посредством использования разделяющих покрытий;
- облегчения глотания при приеме внутрь;
- усовершенствования дальнейшей обработки в производственных линиях [9, с. 132; 26].

Капсулируемое вещество - главный элемент микрокапсул, допускается в твердом, жидком и газообразном виде. Разработанные к настоящему времени технологии позволяют производить микрокапсулирование лиофильных и лиофобных веществ [27].

Составной частью содержимого микрокапсул может быть инертный наполнитель, который является средой для диспергирования вещества, и применимый для дальнейшего действия активного компонента [27, с. 11].

Соотношение капсулированного средства к массе капсулы приблизительно будет равна 50-95 %, причем величина может меняться в зависимости от множества факторов, таких как: технология выработки; соотношение материала оболочки и капсулируемого препарата; соответствие параметров технологического производства (температуры, степени диспергирования, вязкости среды, наличия ПАВ (поверхностно-активных веществ) и т.д.) [9, с. 133; 27, с. 11; 28].

1.1.2 Технологии инкапсуляции в пищевой промышленности

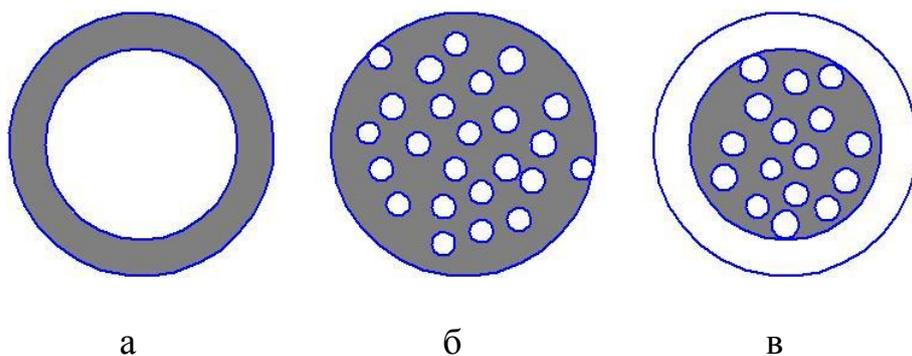
Инкапсуляция – внедрение биологически активных веществ, либо лекарств в оболочку. Размеры могут варьироваться от одного или нескольких микрон до нескольких миллиметров [15, с. 15; 29]. Микрокапсуляция является процессом защиты капсулируемых веществ, а именно пробиотиков, до его высвобождения из оболочки. Вокруг капсулируемого вещества образуется стенка, свойства ее состава задаются с целью защиты инкапсулируемого материала. Стенка предназначена для обеспечения высвобождения материала при заданных условиях, а в случае необходимости, обеспечения проницаемости во внутрь [30]. По размерам и форме капсулы могут отличаться [31].

Инкапсулируемый материал высвобождается различными способами, такими как, механическое разрушение, растворение, расплавление капсулы, диффузия [27, с. 13].

При процессе инкапсулирования существуют множество технологий, это со-экструзия, распылительная сушка для получения капсул, распылительная заморозка, включение в матрицу, капсуляция в гель, капсуляция в кипящем слое [10, с. 40; 32; 33]. Существует большое многообразие капсулирующих веществ: жир, воск, глицериды, сахара, крахмалы и желатины, зеин и другие протеины, производные целлюлозы и пр. Огромный выбор инкапсулирующего материала дает возможность получать капсулы, способные высвобождать содержащееся внутри в любых условиях [34].

1.1.3 Включение в матрицу и инкапсуляция

Понимание и применение терминов «включение» и «инкапсуляция» в качестве синонимов – неверно и ошибочно, т.к. в процессе инкапсуляции происходит образование сплошной оболочки-капсулы, которая полностью покрывает капсулируемое вещество в соответствии с рисунком 1а [35]. Включение, в свою очередь, означает добавление вещества в некую матрицу, причем определенная часть вещества остается на поверхности в соответствии с рисунком 1б. На рисунке 1в изображен гибрид, в данном случае матрица с веществом помещается в оболочку [36].



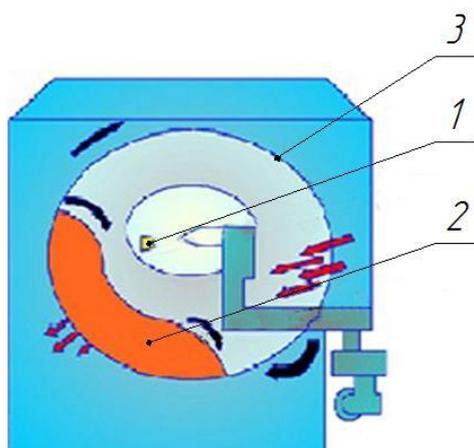
а - процесс инкапсуляции (образование сплошной оболочки); б – процесс включения вещества в матрицу; в – гибрид (матрица с веществом в оболочке)

Рисунок 1 – Способы помещения материала в капсулу

1.2 Методы капсулирования

1.2.1 Дражирование

Дражирование – классическая технология производства небольших, частиц либо таблеток, покрываемых оболочкой, показана на рисунке 2, метод широко применяется в фармацевтической и пищевой отраслях производства. Согласно технологии, раствор материала 1, формирующего оболочку, медленно обрызгивает сверху дражеруемую смесь 2, которая перемешивается во вращающемся барабане 3 [37]. Далее, по данным рассматриваемой технологии, растворитель пленкообразователя испаряется, а вещество покрывается оболочкой, причем технология предусматривает формирование нескольких оболочек с различными свойствами [9, с.134].



1 – раствор материала; 2 - дражеруемый материал; 3 – вращающийся барабан

Рисунок 2 - Метод дражирования

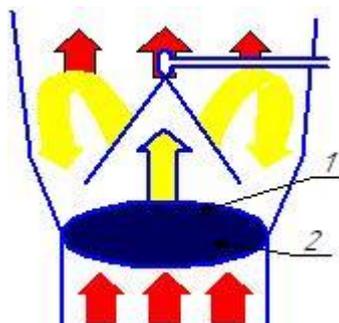
Метод дражерования не позволяет добиться мелких по диаметру капсул, из-за сравнительно большого размера капсулированных частиц, что не дает возможности контролировать процесс.

1.2.2 Метод капсулирования в псевдооживленном слое

Нанесение в псевдооживленном слое капсулируемого продукта путем распыления раствора или расплава позволяет регулировать процесс. Частицы 1, покрываются оболочкой, находясь во взвешенном состоянии в потоке воздуха [38, 39].

Перфорация на тарелке 2, выступающей в качестве подложки капсулируемого продукта, нанесена таким способом, что скорость потока воздуха убывает от центра к краям. С потоком воздуха частицы, находившиеся в центре подложки, начинают подниматься, попадая в зону распыления пленкообразователя. В области распыления скорость потока воздуха уменьшается, т.к. данная зона расширяется кверху, а частицы опускаются обратно, к периметру [9, с. 135; 27, с. 19].

Происходит постоянное передвижение частиц от периметра к центру в соответствии с рисунком 3.



1 – частицы капсулируемого продукта; 2 - тарелка, выступающая в качестве подложки капсулируемого продукта

Рисунок 3 - Перемещение частиц от периметра к центру

Недостатками данного метода является то, что капсулы могут получиться разной формы и диаметра, и к тому же неравномерно распределены. Также, распылительная форсунка, расположенная внутри цилиндра, будет распылять только определенное количество жидкости. Но благодаря этому методу можно получить капсулы желаемого размера в зависимости от размеров форсунки.

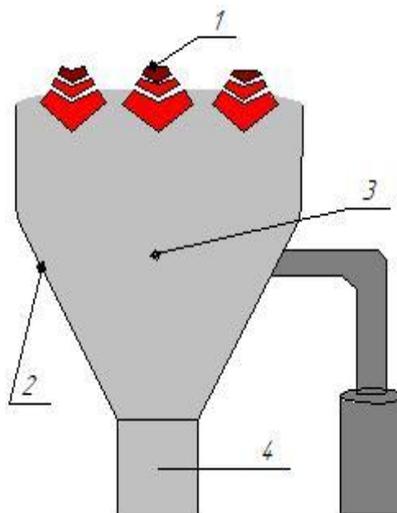
1.2.3 Распылительная сушка

Распылительная сушка продуктивный и популярный (до 85%) метод капсуляции, показан на рисунке 4 [9, с. 135; 27, с. 18].

В потоке горячего воздуха 1 эмульсия, подающаяся через входное отверстие 2, начинает распыляться. Частицы капсулируемого материала 3 образуют форму шара, при испарении воды материал оболочки начинает

твердеть и создают капсулу 4. Немаловажную роль в обеспечении эффективности инкапсуляции играет размер частиц масляной фазы, они должны быть мелкими [40, 41].

Частицы получают ровными по контуру и единичного размера, когда в сушке имеется большая камера с ламинарным потоком воздуха, тогда как, при турбулентном потоке в циклонной сушилке частицы начинают слипаться, тем самым не позволяя инкапсулировать материал.



1 – горячий воздух; 2 – входное отверстие; 3 – распыление капсулируемого материала; 4 – капсулы

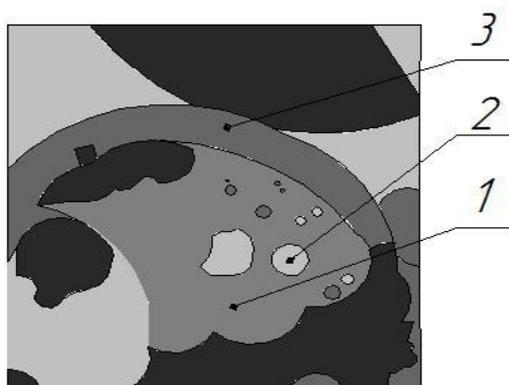
Рисунок 4 - Распылительная сушка

В устройстве для распылительной сушки частицы будут иметь правильную форму, но могут слипаться в циклонных сушилках [42, 43].

1.2.4 Распылительная заморозка

Распылительная заморозка – технология обратная технологии распылительной сушки, показана на рисунке 5.

В данной технологии матрица 1 образуется из жира 2 или воска. На рисунке 5 показана капсула, в состав которой входят частицы жира. Водная фаза служит как соединение. Как в методе распылительной сушки, здесь частицы не высушиваются, они замораживаются. Технология применяется в случаях необходимости защиты капсулированного вещества с помощью оболочки 3 от влаги и высвобождения при определенной температуре. В потоке прохладного воздуха распыляется эмульсия, воск застывает, появляются включения капель капсулируемого вещества [44, 45].



1 – матрица; 2 – жир; 3 – оболочка

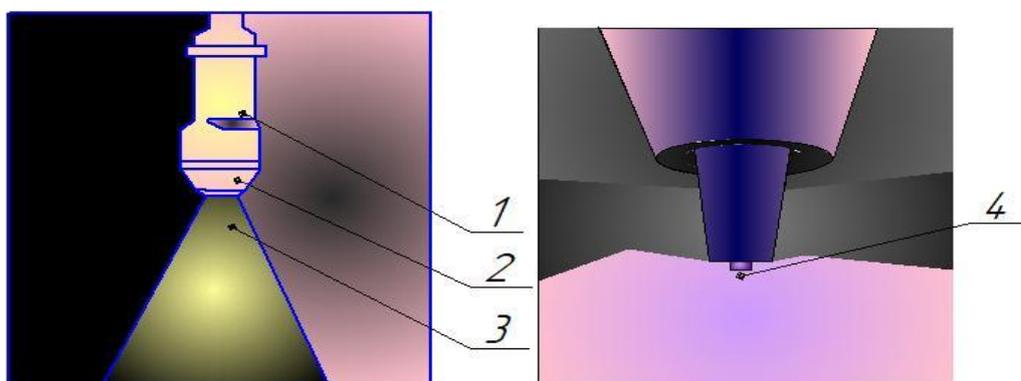
Рисунок 5 – Капсула полученная методом распылительной заморозки

Преимущество этой технологии в том, что сохраняются все полезные вещества капсулируемого материала путем заморозки, однако по форме и диаметру они неоднородны.

1.2.5 Распыление

В технологии применяются распылительные форсунки, работающие как пульверизатор, и атомизирующие диски в соответствии с рисунком 6.

Вращающийся диск – иной метод атомизации для распылительной сушки или заморозки. Вначале происходит получение эмульсии на подающий патрубок 1, в которой капсулируемый материал находится в дисперсной фазе. Затем, в соответствии с технологией распыления, эмульсия направляется на вращающийся диск 4, через форсунку 2 и распыляемый факел 3, который атомизирует частицы. Капли эмульсии, покидая непрерывную фазу, при вращении обретают сферическую форму, которая при высушивании фиксируется [46, 47].



1 - подающий патрубок; 2 – форсунка; 3 – распыляемый факел; 4 – вращающийся диск

Рисунок 6 – Распыление

Преимущество технологии в том, что в случае с суспензиями диск не забьется, в отличие от форсунки.

С помощью атомизирующих дисков существует реальная возможность получить необходимый размер частиц, при «нарезании» потока струи, но при быстром вращении материал сильно разбрызгивается, как следствие увеличивается расход капсулируемого вещества.

1.2.6 Экструзия

Классическая технология экструзии расплавов представлена на рисунке 7.

Данный метод инкапсуляции применим для жирорастворимых ароматических веществ. Матрица капсулируемого вещества путем давления экструзионно проходит через пленку капсулирующего материала и обволакивается оболочкой [27, с. 19]. Вначале получают расплав, путем уваривания сиропа, затем добавляются инкапсулируемый продукт (эфирное масло) и эмульгатор. В данной методике приготовленный расплав подвергается экструдированию через форсунку в ванну с охлажденным и обезвоженным растворителем. На этапе охлаждения происходит затвердевание и отмывка остатков незакапсулированного продукта с поверхности гранул. В случае необходимости, после отделения растворителя материал измельчается [48, 49].

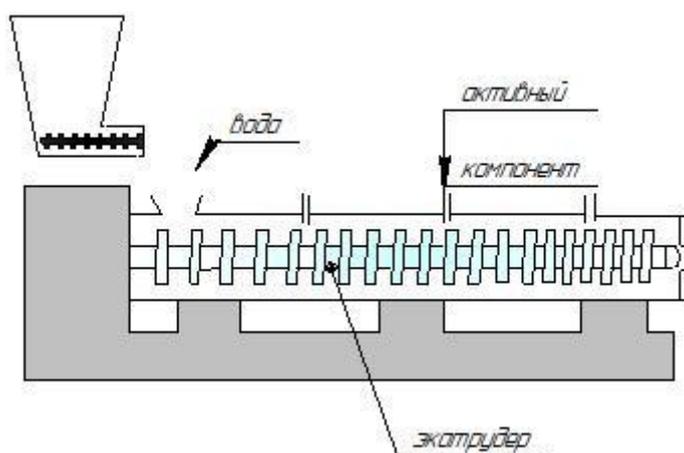
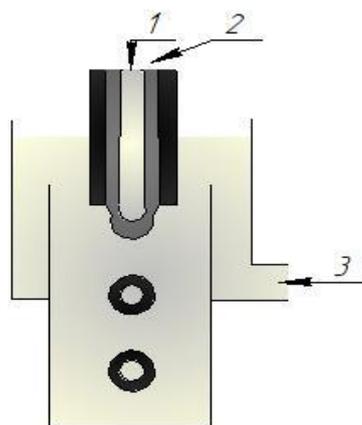


Рисунок 7 – Экструзия

Данная технология применима лишь для жирорастворимых ароматических компонентов, и не дает возможности получить иные по содержанию капсулы. К плюсам можно отнести то, что можно легко очистить капсулят от остатков незакапсулированного материала.

1.2.7 Со-экструзия

В данной технологии капсулируемый материал проходит под давлением через форсунки, которые расположены одна в другой в соответствии с рисунком 8.



1 – капсулируемый материал; 2 – материал оболочки; 3 – охлажденное масло

Рисунок 8 - Со-экструзия

Согласно технологии, капсулирующее вещество 1 проходит через наружное отверстие, обволакивая струю матрицы, протекающей через внутреннее отверстие форсунки. На выходе эмульсия начинает распадаться на мелкие капельки с оболочкой капсулируемого материала 2. На следующем этапе технологии, оболочка начинает твердеть и этот процесс зависит от состава оболочки, происходит охлаждение воздухом, либо жидкостью, маслом 3 либо сушка горячим воздухом [50].

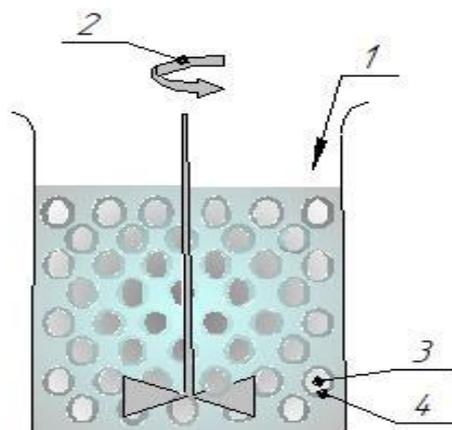
Метод со-экструзии является наиболее эффективным, так как капсулируемое вещество и оболочка не смешиваются друг с другом в процессе обработки, и только в последний момент при контакте с охлажденным маслом образуется капсула. А также капсулы имеют однородную консистенцию и одинаковые размеры.

1.2.8 Коацервация

Коацервация – технология инкапсуляции, согласно которой, капсулируемое вещество, помещенное в масляную фазу эмульсии типа масла в воде, обволакивается тонким нерастворимым покрытием полимера в соответствии с рисунком 9.

По этой технологии, масляная фаза 3 присоединяется к раствору полимеров 4, которая содержит коацерваты [27, с. 17; 51; 52]. Коацерваты, под воздействием электростатических сил, при добавлении уксусной кислоты 1, покрывают масляную фазу, формируя однородную, полужидкую оболочку. Согласно данной технологии, структура подвергается охлаждению, что приводит к отверждению оболочки капле, при медленном перемешивании 2. Перед процессом сушки, во избежание склеивания влажных капсул, в структуру вводят добавку (например, диоксид кремния). По технологии коацервации, капсулы малой величины применяются при технологии распылительной сушки. Большие капсулы размером более 100 мкм необходимо

отфильтровать и произвести сушку в струе воздуха в псевдокипящем слое [53, 54].



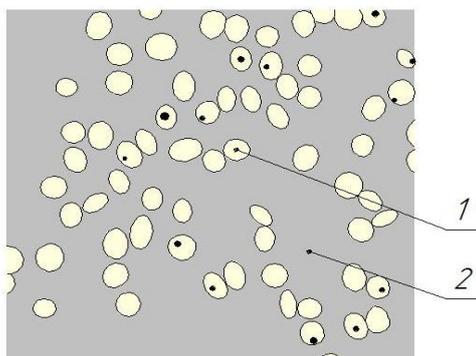
1 – добавление уксусной кислоты; 2 - медленное перемешивание; 3 - капля масла; 4 – полимерное покрытие

Рисунок 9 – Коацервация

Капсулы, полученные методом коацервации, очень хорошо подходят для капсулирования лекарственных препаратов. Однако, без добавок, противостоящих слипанию, капсулы не могут самостоятельно отделяться.

1.2.9 Методы при формировании гелевых микросфер

Микросферы – небольшие сферы (диаметром 0,2-5,0 мм) с активным веществом 1, состоящие (складывающиеся) из геля биополимера 2, представлены на рисунке 10. По данным этого метода, в большинстве случаев активное вещество вводится до образования микросферы, но существуют технологии, при которых вещество внедряется в существующие микросферы.



1 – активное вещество; 2 – гель биополимера

Рисунок 10 – Альгинатные гелевые частицы

Для формирования микросфер, согласно данным, применяются следующие технологии: капельная или эмульсионная.

Капельный метод: в ванну с раствором хлорида кальция капельно вводится альгинатный раствор/суспензия, содержащий активное вещество [55, 56].

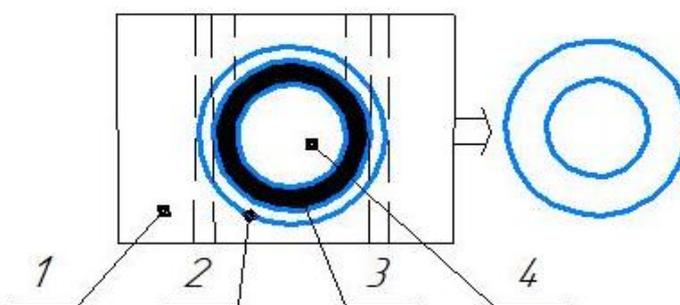
Этапы эмульсионного метода: в эмульсию альгинатного раствора вводится раствор хлорида калия. Данный подход дает возможность производства микросфер малой величины. После продолжительного пребывания в растворе хлорида калия оболочка альгинатных микросфер отвердевает.

Технология получения микросфер с использованием кальций альгинатного геля, согласно методу, является весьма удобной. Так, можно регулировать толщину оболочки капсулы.

Капельная технология позволяет получить капсулы относительно правильной формы и размеров, тогда как эмульсионным вариантом можно добиться наименьших размеров.

1.2.10 Способ получения аналога рыбной икры

Пивоваровым П. П. и Пивоваровым Е. П. представлен способ, согласно которому раствор - суспензия, содержащая водный раствор гелеобразователя, смешанного с ароматизаторами и пищевыми красителями, помещается в охлажденную образующую среду. В качестве водного раствора гелеобразователя выступает 0,1-10,0% раствор термотропного гелеобразователя 4 в водорастворимой соли кальция 2 при температуре 26-65°C. В качестве образующей среды – водный раствор альгината натрия 1 [57, 58]. Метод дает возможность получения термически устойчивого сырья, путем создания оболочки из альгината кальция 3, с большим сроком хранения, показан на рисунке 11.



1 - водный раствор альгината натрия; 2 - соединение альгината натрия и кальция хлорид; 3 – оболочка из альгината кальция; 4 – раствор термотропного гелеобразователя

Рисунок 11 - Способ получения аналога рыбной икры

Технология капсулирования в оболочку из альгината кальция дает возможность производить термическую обработку продукции, т.е. осуществлять пастеризацию. Доступность и невысокая стоимость сырья делает метод рентабельным, и выгодным.

1.3 Устройства для капсулирования

1.3.1 Автоматическая установка для производства гранулированных продуктов

Специальная установка по получению гранулированных пищевых продуктов в виде рыбной икры была разработана Е.С. Вайнерманом в соответствии с рисунком 12.

Данная разработка также может быть использована при выпуске гранулированных лекарственных препаратов [59].

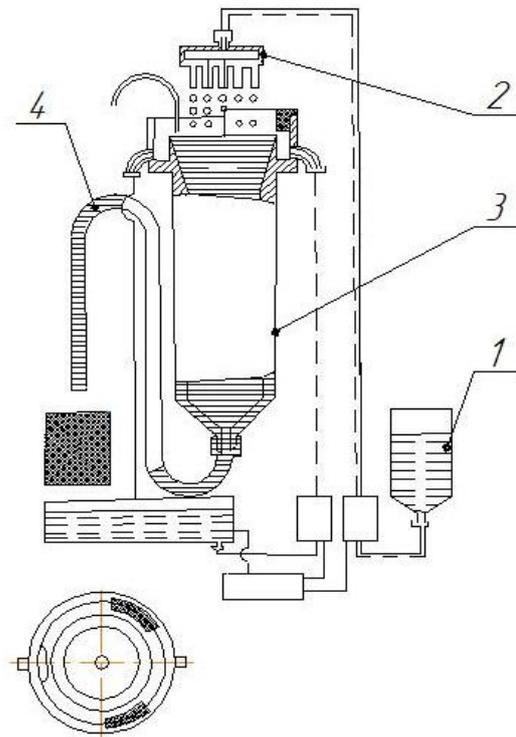
По проведенным анализам автора, предлагаемая установка дает возможность получать гранулированный продукт, в виде однородных капсул (гранул) с упругой гелеобразной оболочкой и вязким ядром, которые по своим физическим свойствам идентичны натуральной зернистой икре [59].

Ниже представлено схематическое изображение автоматической установки по производству гранулированных продуктов, разработанное Е.С. Вайнерманом [59].

Автором предложено получение гранулированных продуктов на данной установке следующим образом.

Формующая жидкость подогревается до необходимой температуры и подается в устройство формирования гранул [59].

Смесь исходных компонентов 1 (наполнитель гранул) на данной разработке помещают в емкость и перемещают в каплеобразователь 2. Автор отмечает, что капли продукта, полученные в каплеобразователе, попадают в формующую жидкость и затем, проходя через устройство формирования гранул 3 и через выводной трубопровод 4, претерпевают процесс контролируемой термокоагуляции. Таким образом, по анализам Е.С. Вайнермана, полученные гранулы перемещаются в отделитель-накопитель гранул, где их отделяют от формующей жидкости и накапливают в определенном количестве [59, 60].



1 – емкость для наполнителей гранул; 2 – каплеобразователь; 3 – устройство формирования гранул; 4 – выводной трубопровод.
 Условные обозначения линий связи: а – формирующая жидкость; б – исходные компоненты

Рисунок 12 - Автоматическая установка для производства гранулированных продуктов

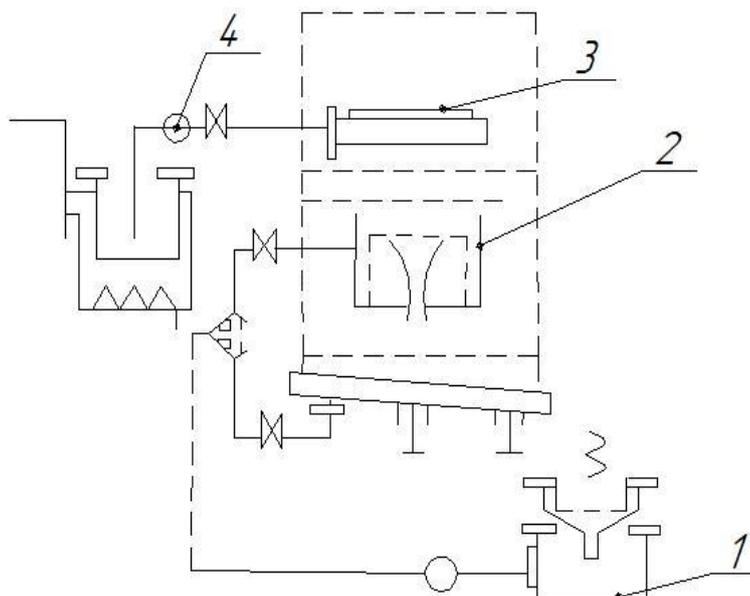
К преимуществам данной установки можно отнести возможность очистки формирующей жидкости, а также возможность контроля температуры готовых капсул, за счет поддержания температуры формирующей жидкости в узких пределах (+0,5°С). Недостатком можно назвать крупные габариты и некоторую усложненность установки.

1.3.2 Устройство для производства бесшовных наполненных капсул

Оборудование для получения бесшовных наполненных капсул из текучих или вязких веществ, суспензий, коллоидных растворов и др. было предложено Пивоваровым П.П. и Пивоваровым Е.П. [60, с.211].

Авторами подмечено, что, используя данное оборудование, можно получать бесшовные капсулы диаметром от 1,00 мм до 10,00 мм с инкапсулированными водорастворимыми веществами и/или веществами в коллоидном состоянии эмульсий, обратных эмульсий, дисперсий или суспензий, подлежащих капсулированию в водорастворимом гелеобразователе, раствор которого одновременно выполняет роль транспортной системы [61].

Принципиальная схема оборудования для получения бесшовных наполненных капсул представлена в соответствии с рисунком 13.



1 - накопительная емкость; 2 - приемная емкость; 3 - капсуляторная головка; 4 - насос

Рисунок 13 - Устройство для производства капсулированных продуктов

В формирующий раствор, в соответствии с рабочим процессом данной установки, из которого получают оболочку для капсул, перемещается из накопительной емкости 1 в приемную емкость 2 и, проходя всю систему, переходит в ламинарный поток [61].

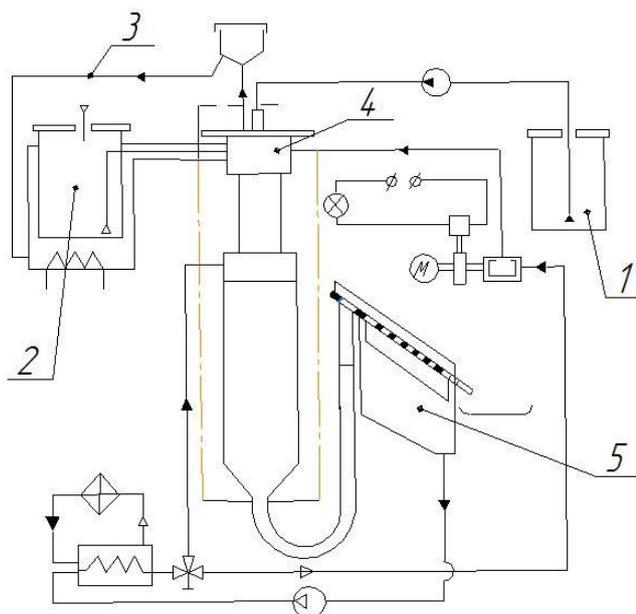
По данным авторов, вещество-наполнитель капсул помещается в емкость, подогреваемую до необходимой температуры и затем, перемещается в капсуляторную головку 3 с фильерами, где формируются капли с заданными массами и размерами для последующего образования капсул. А также отмечается, что диаметр капель можно менять путем регулирования частоты пульсации насоса 4. Пивоваровым П.П. и Пивоваровым Е.П. подмечено, что полученные капли попадают в приемную емкость 2, которая обеспечивает разрыв поверхностного натяжения формирующего раствора. В результате, капли погружаются в ламинарный поток формирующей жидкости и под действием сил поверхностного натяжения формируют сферы, а под действием ионотропных химических сил мгновенно фиксируются в капсулы [61].

Преимуществом установки является возможность контроля и регулирования размеров капсул, а также толщину их оболочки. Установка удобна при чистке и эксплуатации, не требует значительных затрат за счет доступности материалов.

1.3.3 Устройство для получения капсулированных продуктов

Установка для получения капсул с наполнителем была разработана Соловьевым П.А., Макаровым В.Г., Фомичевым Ю.С. Предложенная ими установка применима как в медицинской промышленности для выпуска лекарственных форм в виде капсул, так и в пищевой, и других отраслях промышленности [62].

Принципиальная схема рассматриваемого устройства представлена на рисунке 14.



1 – емкость для подогрева; 2 – емкость для раствора материала оболочки капсул; 3 – система, подающая сжатый воздух или газ; 4 – капсуляторная головка; 5 - маслосборник

Рисунок 14 - Схема устройства для получения капсулированных продуктов

Авторами разработан принцип работы устройства, который представлен ниже.

Авторы отмечают, что по принципу работы устройства раствор материала оболочки капсул заливается в емкость 1, где подогревается до определенной температуры, при которой достигается заданная текучесть материала. Под давлением сжатого воздуха или газа, который подается системой 3, согласно принципу работы устройства, раствор материала оболочки капсул, которая находится в емкости 2 поступает к капсуляторной головке 4, попадает в щелевой цилиндрический зазор и образует полую кольцевую струю [62].

В работе авторы показывают принцип дробления двухсоставной струи на отдельные капсулы путем подачи пульсирующего потока масла к капсуляторной головке 2. Полученные капсулы перемещаются с помощью

масла в воронку. Отделившееся, отработанное масло из маслосборника 5 вновь поступает в систему, согласно данным принципа работы устройства [62].

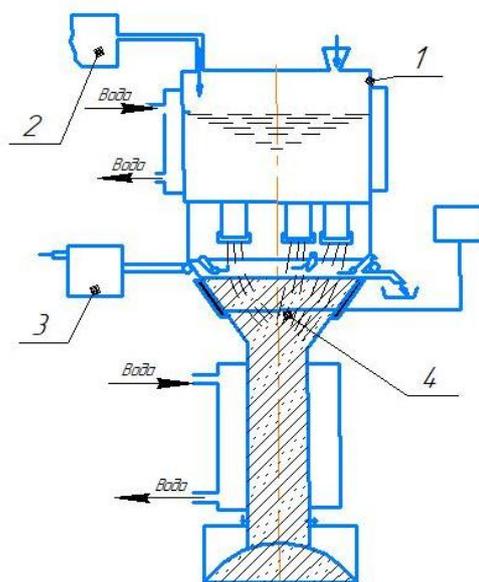
Устройство позволяет проводить визуальный контроль процесса, регулировать параметры, отличается удобством при сборке, разборке и очистке. К недостаткам устройства можно отнести сложную конструкцию данной установки.

1.3.4 Устройство для приготовления пищевой зернистой икры

Оборудование для получения деликатесных капсулированных пищевых продуктов было предложено Хачатрян А.П. и Хачатрян Р.Г. Данное оборудование предназначено, в основном, для производства аналога черной зернистой икры, но оно также может быть использовано и в пищевой промышленности [63].

Принципиальная схема устройства для изготовления гранул изображена на рисунке 15.

По данным авторов, устройство позволяет получать шарообразные гранулы диаметром 1-3 мм из белковой смеси, при изготовлении черной зернистой икры. Авторами отмечено, последующие этапы по изготовлению икры, включая окраску, вкусовую заправку, могут быть выполнены в обычной посуде или емкостях [60, с. 211 - 212; 63].



1 – емкость для смеси; 2 - стерильный CO₂; 3 – компрессор; 4 – емкость-гранулятор

Рисунок 15 -Устройство для приготовления пищевой зернистой икры

Работу устройства Хачатрян А.П. и Хачатрян Р.Г. представили следующим образом.

Готовая смесь для гранул помещается в емкость 1, в которой путем подачи стерильного CO_2 2 создается и поддерживается давление от 0,2-2,0 кгс/см², в источнике давления газа. Пульсирующий газ передается через компрессор 3. Температура поддерживается в пределах 40-45°C [63].

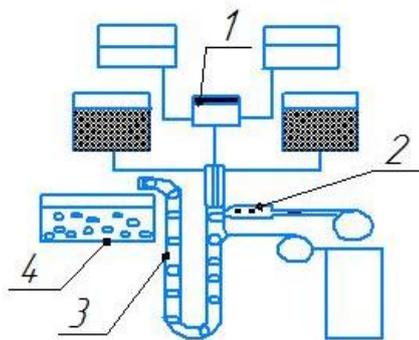
Авторами подмечено, что в результате в масле образуются "шнурки", состоящие из гроздей шарообразных гранул диаметром 1-3 мм, которые находятся в емкости – грануляторе 4. Размер получаемых гранул, по описанию, можно регулировать, путем изменения скорости истечения струй белковой смеси или температуры подогрева слоя масла. В случае излишнего перегрева масла уменьшается размер гранул и увеличивается вероятность слипания гранул, согласно данным принципа устройства [63].

Производство гранулированных продуктов на данной установке является нетрудоемким и доступным. Недостатком является частое слипание капсул, образование «шнурков», состоящих из слипшихся капсул.

1.3.5 Оборудование для изготовления капсул капельным методом

Было рассмотрено автоматическое оборудование, производящее капсулы капельным методом фирмы "Interfarm Bussum" (Нидерланды) [64]. Производительность данного оборудования, согласно описанию, достигает 100000 капсул/час. Принципиальная схема получения капсул на данном оборудовании показана в соответствии с рисунком 16.

По данным конструкции оборудования принцип работы, следующий: под давлением дозирующего устройства 1, желатиновая масса подается к форсунке 2, лекарственное средство начинает вытекать через центральное отверстие, а масса из желатина через концентрическое отверстие. Капсулируемый материал (жидкий наполнитель) 3 обволакивается желатиновой массой. Образовавшиеся капли, согласно описанию принципа работы, поступают в вазелиновое масло, находящееся в системе циркуляции 4. Здесь капсулы формируются и перемешиваются [64].



1 – дозирующее устройство; 2 – концентрическая трубчатая форсунка; 3 – капсулируемый материал; 4 – циркуляционная система

Рисунок 16 – Схема получения капсул капельным методом

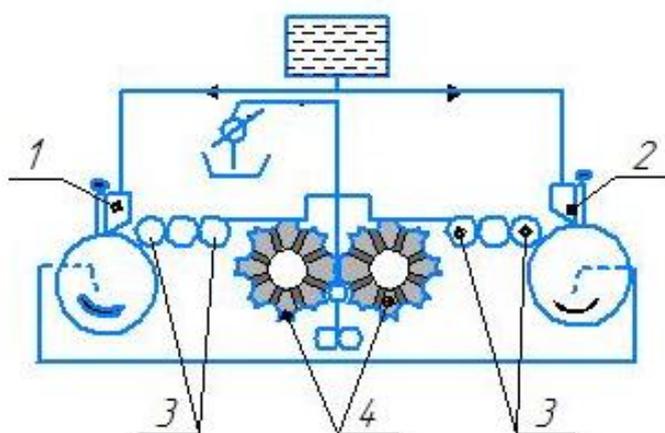
Данное оборудование не сложное по конструкции и позволяет получить капсулы с наполнителем. Преимуществом данного оборудования является большая производительность при не больших габаритах. Основной недостаток устройства – сложность изготовления концентрической трубчатой форсунки.

1.3.6 Автоматы для изготовления капсул ротационно-матричным методом

Оборудование для получения капсул данным методом изготавливаются во многих иностранных фирмах, таких как, "Leiner" (England); "Capsule Technology International" (Canada); "Scherer" (USA); "Pharmagel" (Italy) и др. [64].

Капсулы, полученные на этом оборудовании, имеют различную форму. Также рассматриваемое оборудование дает возможность капсулировать пастообразные и жидкие вещества в большом количестве. Производительность варьируется от 18000 до 92000 капсул/час [64].

Схема работы рассматриваемого оборудования фирмы "Leiner" (England) приведена в соответствии с рисунком 17.



1 – емкость-термостат; 2 – емкость-термостат; 3 – охлаждаемые валки; 4 – матрицы

Рисунок 17 – Схема работы оборудования для получения капсул ротационно-матричным методом на автомате марки "Leiner"

Данное оборудование имеет две части (правая и левая). Масса из желатина подается в две емкости 1,2, откуда попадает на охлаждение (валки 3) и образует желатиновую ленту. Из желатиновой ленты под прессом в матрице 4 образуются половинки капсул, которые там же дозируются лекарственными веществами и склеиваются за счет давления в матрицы [64].

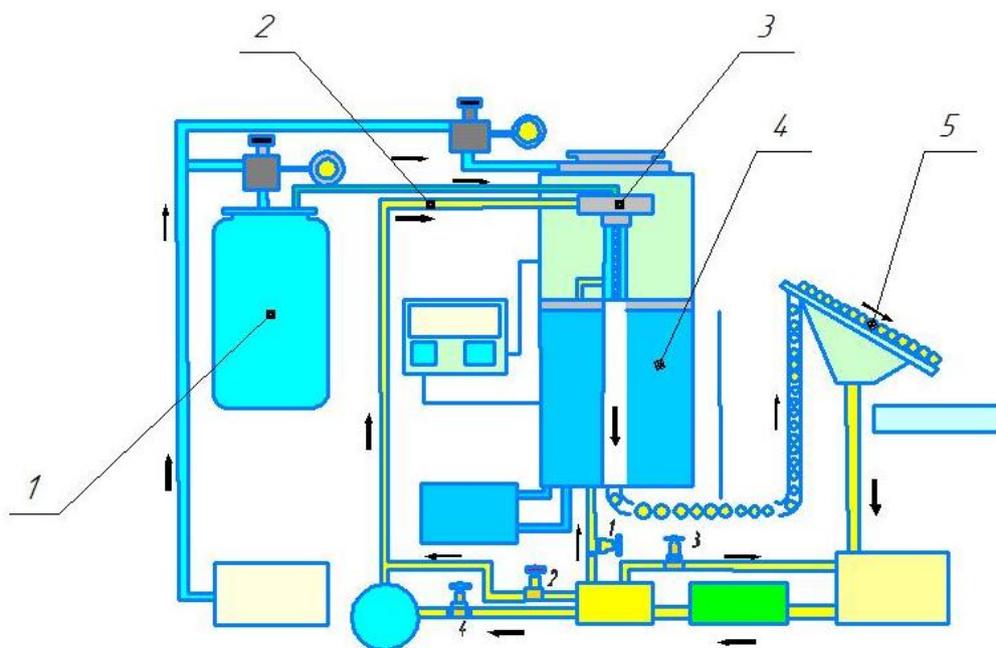
Процесс выработки капсул на данном оборудовании идет за счет наполнения, затем склеивания двух частей капсулы, что не дает возможности получить бесшовные капсулы. Однако, преимуществом является большое

количество дозирования лекарственных препаратов, в сравнении с другими аналогами данного оборудования.

1.3.7 Оборудование для производства бесшовных желатиновых капсул

Оборудование по получению капсул, разработанное российскими учеными и экспертами в сфере инкапсулирования, основывается на физических свойствах желатина [65]. Производит до 11000 капсул за час. Разработчиками отмечено, что формирование капсул происходит под давлением воздуха, в капсуляторе 3, куда подается наполнитель 1 и масса из желатина 2. Принципиальная схема капсулятора для производства мягких бесшовных желатиновых капсул показана на рисунке 18 [65].

Пулсирующее масло разделяет на части струю из желатиновой массы, затем они (части) преобретают сферообразную форму и начинают твердеть в охлажденном масле 4. Затем капсулы продвигаются по лотку 5. Число капсул равно частоте пульсации масла в капсуляторе [65].



1 – емкость для наполнителя капсул; 2 – желатиновая масса; 3 – капсулятор; 4 – охлажденное масло; 5 – лоток движения капсул

Рисунок 18 - Принципиальная схема капсулятора для производства мягких бесшовных желатиновых капсул

Данное оборудование дает возможность получить бесшовные капсулы одинакового размера и формы, благодаря капельному методу. Из недостатков можно отметить, что конструкция данного оборудования сложна, металлоемка и требует серьезных капиталовложений.

1.3.8 Заключение по обзору литературы

Проведенный анализ существующих устройств капсуляторов-грануляторов показал, что наиболее распространенным недостатком грануляторов является неравномерность размеров полученных гранул, кроме того, данными методами можно получить только твердые гранулы, что не соотносится к нашим требованиям к капсулам.

Метод дражирования дает довольно крупные гранулы, при этом, процесс получения гранул невозможно проконтролировать.

Распылительные сушилки позволяют получать капсулы достаточно мелких размеров, но, в процессе распыления, капсулируемое вещество разбрызгивается по стенкам сосуда и прилипает, тем самым увеличивая расход капсулируемого вещества.

Метод экструзии, в основном применяется для жирорастворимых ароматических компонентов, что ограничивает возможности применения этого метода для капсулирования пробиотиков.

Использование кальций - альгинатного геля позволяет избежать большинства недостатков рассмотренных методов. Применение капельной технологии дает возможность получить капсулы относительно правильной формы и при этом достаточно точно контролировать размеры капсул в процессе изготовления. Эмульсионная технология позволяет добиться получения наименьших размеров капсул.

Выводы по 1 главе

1. Анализ имеющихся на данный момент оборудований для получения капсул позволяет сравнить их по принципу работы и устройству рабочих органов. Проведена общая оценка каждого оборудования, на основании проведенной оценки выделены наиболее перспективные конструкции, описание которых приведено в обзоре.

2. Применение кальций – альгинатного геля обеспечит получение качественной продукции при минимальных потерях сырья. Полученные таким образом капсулы позволяют обеспечить поступление пробиотиков в организм человека с максимальной эффективностью.

3. Исходя из проведенного анализа, можно сделать вывод о том, что наиболее перспективным для получения капсулированной продукции является разработка оборудования на основе применения капельного метода, который имеет ряд преимуществ по сравнению с остальными видами капсуляторов.

1.4 Постановка задач исследований

Сделав анализ из вышеизложенного была сформулирована цель работы - разработать оборудование для получения бесшовных капсул с пробиотиками капельным методом.

На основе проведенного анализа научно-технической информации, а также в соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

- 1 анализ конструкции оборудования для инкапсулирования;
- 2 разработка реологической и математической моделей гелеобразующей смеси;
- 3 разработка и изготовление установки для инкапсулирования пробиотиков, 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) (Приложение А).
- 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.

2 ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Постановка эксперимента, исследование факторов, влияющих на процесс получения капсул

Для проведения комплексных экспериментальных исследований установки для инкапсулирования с целью проверки адекватности результатов экспериментов была разработана методика, схема проведения эксперимента в соответствии с рисунком 19 и экспериментальный стенд в соответствии с рисунком 20 для изучения установки, технических, технологических и структурно-механических параметров процессов, происходящих при получении капсул. Стенд позволяет определить производительность установки для капсулирования, температуру сырья до и во время капсулирования, гранулометрический состав получаемого сырья, прочностные показатели капсул, энергетические характеристики оборудования.

Основными переменными в экспериментальных исследованиях являются различные процентные соотношения альгината натрия и желатина, частота вращения перистальтического насоса, температура раствора и диаметр инжекторов.

Для подбора оптимального процентного соотношения альгината натрия и желатина гелеобразующей смеси, не меняя процентное соотношение желатина (1%), меняли процентное соотношение альгината натрия (0,5%, 1%, 1,5%), затем, при одинаковом процентном соотношении альгината натрия (1%), меняли желатин (1%, 2%, 3%, 4%). Эксперименты проводились при температурах гелеобразующей смеси от 20 до 50 °С, частоте вращения перистальтического насоса $0,333 \text{ с}^{-1}$; $0,667 \text{ с}^{-1}$; 1 с^{-1} ; $1,333 \text{ с}^{-1}$. Для подбора оптимального внутреннего диаметра инжекторов фильеры установки были взяты 7 (семь) образцов инжекторов. Внутренний диаметр инжекторов, следующий: 1 образец – $0,82 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 2 образец – $0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 3 образец – $0,16 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 4 образец – $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 5 образец – $0,43 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 6 образец – $0,49 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; 7 образец – $0,65 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (Приложение Г).

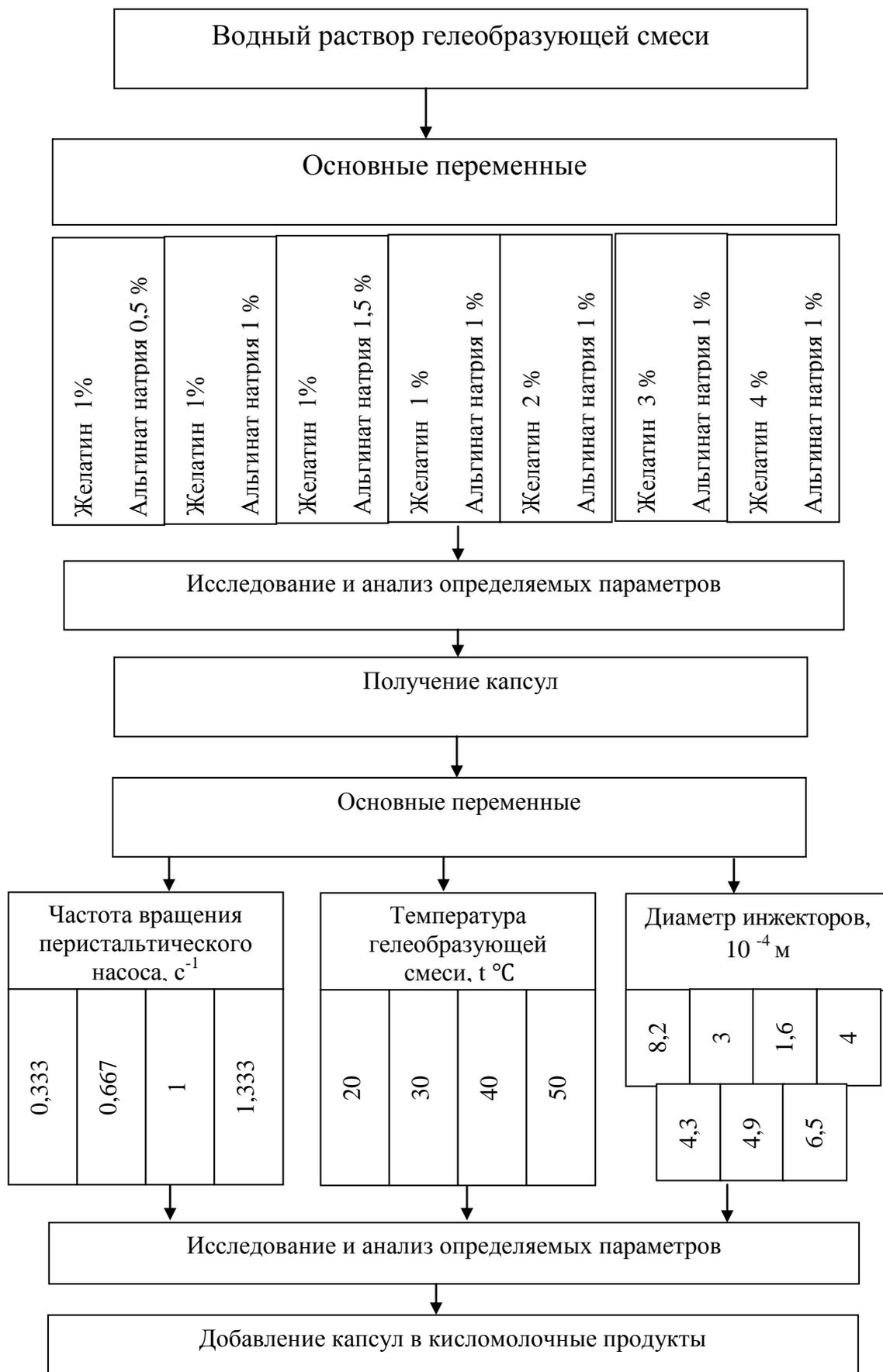
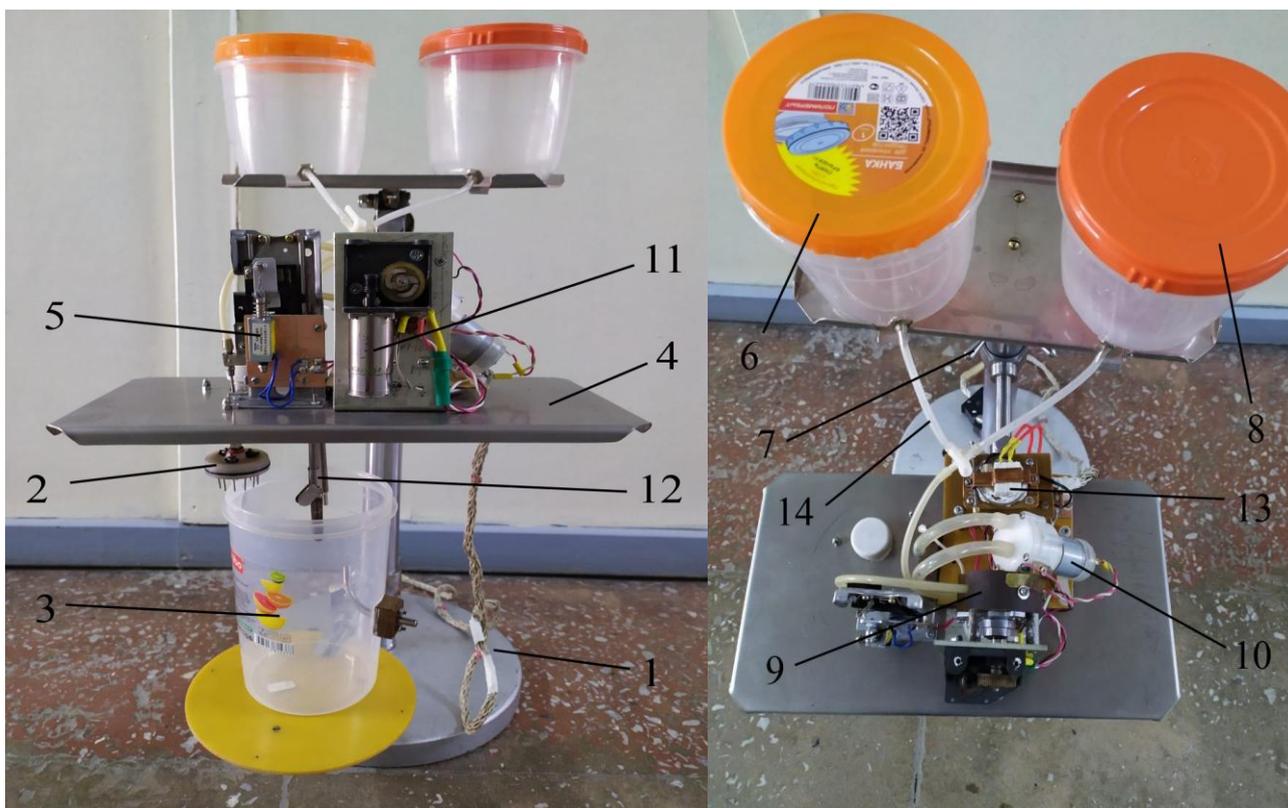


Рисунок 19 – Схема проведения эксперимента



1-штатив, 2- фильера, 3- емкость для раствора, 4- панель исполнительных устройств, 5- встряхиватель, 6 – емкость для рабочей смеси, 7- гайка регулировки уровня емкостей, 8- емкость для промывной жидкости, 9- перистальтический насос, 10 – циркуляционный насос, 11 – мотор привода перистальтического насоса, 12- циркуляционная трубка; 13 – термостат; 14 - трубопроводы

Рисунок 20 - Установка для инкапсулирования пробиотиков

2.2 Процесс инкапсулирования пробиотиков в водный раствор гелеобразующей смеси

Заклучение биологически активных добавок, ферментов, клеток и др. материалов в мелкие капсулы называется процессом инкапсулирования. Инкапсуляция является весьма актуальным процессом на сегодняшний день, так как позволяет защитить инкапсулируемый материал (пробиотик) от воздействий окружающей среды: влага, тепло и т.д., тем самым повышая шансы на выживаемость. В пищевой промышленности инкапсуляцию используют для скрытия запахов и вкусовых качеств [66].

При употреблении живых микроорганизмов - пробиотиков, организм человека начинает лучше функционировать [67]. Инкапсулирование позволит сохранить жизнеспособность пробиотиков, что является важным аспектом для оптимальной работы желудочно-кишечного тракта [68]. Иммунофармокология также способствует восстановлению иммунной системы после различных заболеваний. Иммуномодуляторы, используемые в качестве лекарственных

препаратов, усиливают сопротивление организма к инфекционным заболеваниям [69].

Для инкапсулирования пробиотиков на начальном этапе проведения экспериментов была разработана методика получения капсул.

В качестве водного раствора гелеобразующей смеси использовали раствор желатина с добавлением альгината натрия [70]. Раствор получили следующим образом: в воде (80 °С) растворили желатин в количестве 1 % от общего количества взятой воды. Мерный стакан с водным раствором желатина помещается на электромагнитную мешалку с подогревом и раствор перемешивается до полного растворения желатина. Температура подогрева выставляется 60 °С, так как при температуре ниже 60 °С альгинат натрия плохо растворяется, а при температуре выше 60 °С альгинат натрия начинает комковаться. После чего в раствор желатина добавляется 1 % альгината натрия и также помещается на электромагнитную мешалку с подогревом. После растворения альгината натрия смесь охладили до температуры 40°С. В полученную смесь внесли навеску штамма пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii*. В качестве формообразующей смеси готовится 2% раствор хлорида кальция. Для этого берется 98 мл дистиллированной воды и добавляется 2 грамма хлорида кальция. После растворения хлорида кальция формообразующая смесь готова. Для формирования капель из гелеобразующей смеси использовали одноразовые медицинские шприцы. Для этого обрезался кончик иглы перпендикулярно оси иглы, что позволяет контролировать формирование капли и получать капли одинакового размера [71]. При формировании капсулы, капля отрываясь от шприца, полностью погружается в раствор хлорида кальция, при этом альгинат натрия взаимодействуя с хлоридом кальция образует капсулу, состоящую из альгината кальция [72]. В результате мы получили стабильный размер капсул и красивую округлую форму.

В конечном итоге, получили округлые капсулы, содержащие пробиотик *Propionibacterium freudenreichii*, которые могут быть использованы в дальнейших технологических процессах при получении пищевых продуктов лечебно-профилактического действия или при получении фармакологических препаратов.

2.3 Описание экспериментальной установки (установка для капсулирования)

Установка для инкапсулирования сделана в рамках научного гранта, финансируемого МОН РК по приоритетному направлению «Рациональное использование природных ресурсов, переработка сырья и продукции», предприятию «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) (Приложение А) в соответствии с рисунком 21.

Рабочий блок включает штатив 1, на котором крепятся две консоли с возможностью перемещения. Нижняя консоль предназначена для размещения емкости 2 для охлаждающего раствора (воды с льдом). На второй консоли крепится панель исполнительных устройств 4.

В верхней части установлена панель для размещения емкостей со смесью для капсулирования и раствором для промывания системы установки 6 и 8. Панель может регулироваться по высоте регулировочной гайкой 7 в соответствии с рисунком 22. На панели исполнительных устройств расположены: циркуляционный насос 10, перистальтический насос 9 с датчиком положения ротора перистальтического насоса, встряхиватель 5 с системой направляющих и крепления фильеры.

Перистальтический насос предназначен для подачи жидкости от емкости для раствора к фильере. Фильера 2 представляет из себя головку со встроенными инжекторами и патрубком для соединения трубопроводов для подачи жидкости. Фильера крепится к встряхивателю 5. Термостат поддерживает заданную температуру в системе. Емкости для растворов, термостат, перистальтический насос и фильера соединены трубопроводами, изготовленными из силикона. Циркуляционный насос предназначен для перекачки и образования циркуляционных потоков в формообразующей жидкости, что не позволяет слипаться образуемым капсулам.

На панели также расположены трубопроводы циркуляционного насоса и датчик температуры охлаждающего раствора для капсулирования (CaCl_2), в который они погружены. Уровень погружения трубок устанавливается в соответствии с условиями эксперимента. Уровень жидкости в рабочей емкости устанавливается наклоном переливной трубки, расположенной в боковой части рабочей емкости. Переливная трубка предназначена для поддержания уровня жидкости в рабочей емкости в заданном положении. При заполнении рабочей емкости капсулами, уровень жидкости будет повышаться, при этом излишек ее будет сливаться в емкость с охлаждающим раствором [74].

Установка работает следующим образом:

Водный раствор гелеобразующей смеси, подогретый до температуры 40°C , заливается в емкость для рабочей смеси 6. В емкость для раствора 3 заливается формообразующая жидкость, являющийся 2 % раствором хлорида кальция, охлажденного до температуры в пределах от 0 до 5°C . При этом переключающий вентиль 15 повернут так, чтобы в систему трубопроводов поступал водный раствор гелеобразующей смеси как показано на рисунке 22.

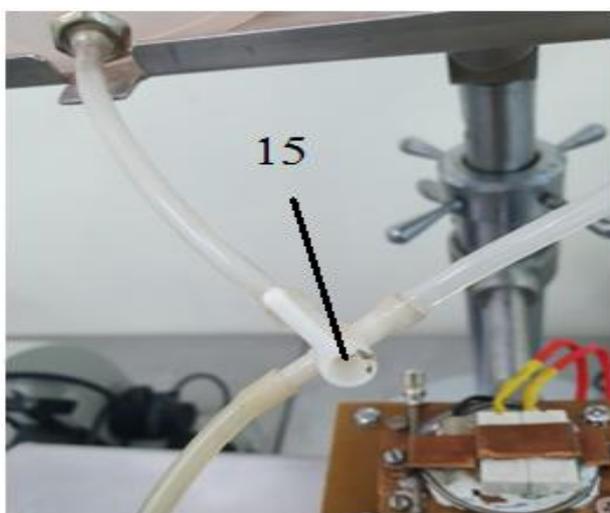
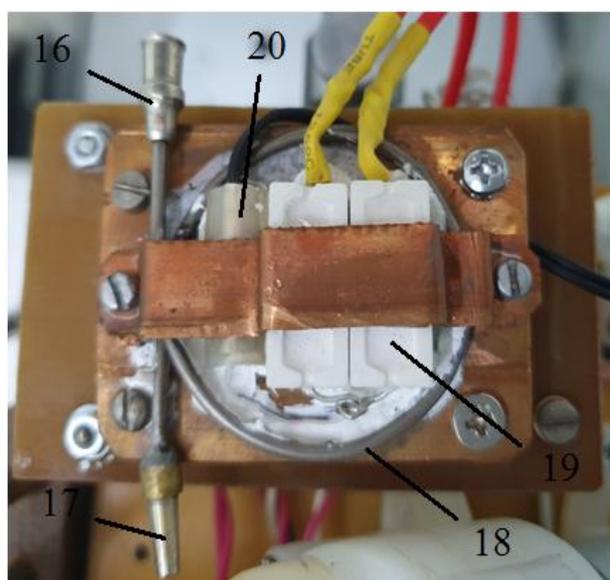


Рисунок 22 - Переключающий вентиль

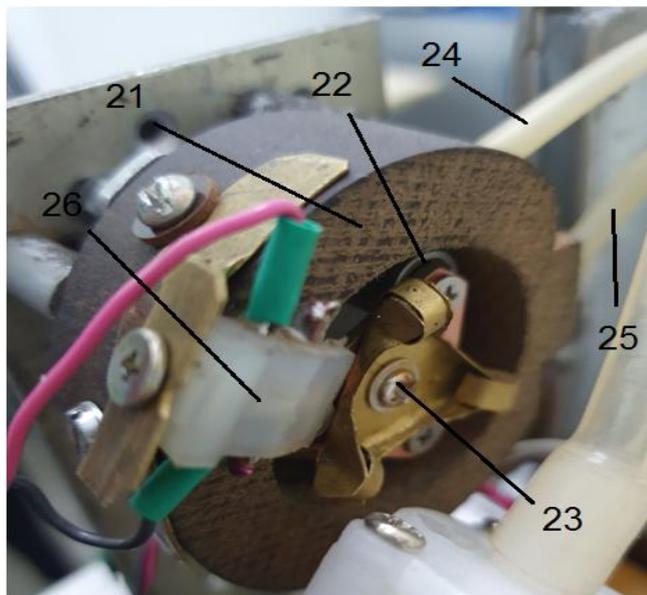
Далее водный раствор гелеобразующей смеси через переключающий вентиль поступает в термостат 13, где происходит дополнительный подогрев и термостатирование водного раствора гелеобразующей смеси как показано на рисунке 23. При этом, водный раствор гелеобразующей смеси поступает в термостат через входной патрубок 16, по мере прохождения через кольцевой трубопровод 18 происходит нагревание смеси с помощью нагревательных элементов 19 снятие показаний температуры производится термодатчиком 20, термостабилизированный водный раствор гелеобразующей смеси выходит через выходной патрубок 17.



16 – входной патрубок; 17 – выходной патрубок; 18 – кольцевой трубопровод; 19 – нагревающие элементы; 20 - термодатчик

Рисунок 23 - Термостат

После термостатирования водный раствор гелеобразующей смеси поступает в перистальтический насос, который предназначен для подачи смеси на фильеру в соответствии с рисунком 24.



21 – корпус насоса; 22 – ролик; 23 – вал; 24 – входной патрубков; 25 – выходной патрубков; 26 – датчик встряхивателя

Рисунок 24 – Перистальтический насос

Водный раствор гелеобразующей смеси, проходя через фильеру, поступает на инжекторы как показано на рисунке 25.

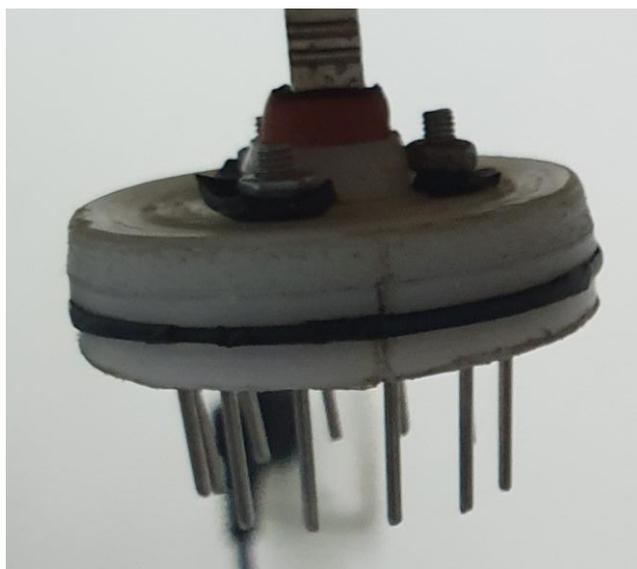
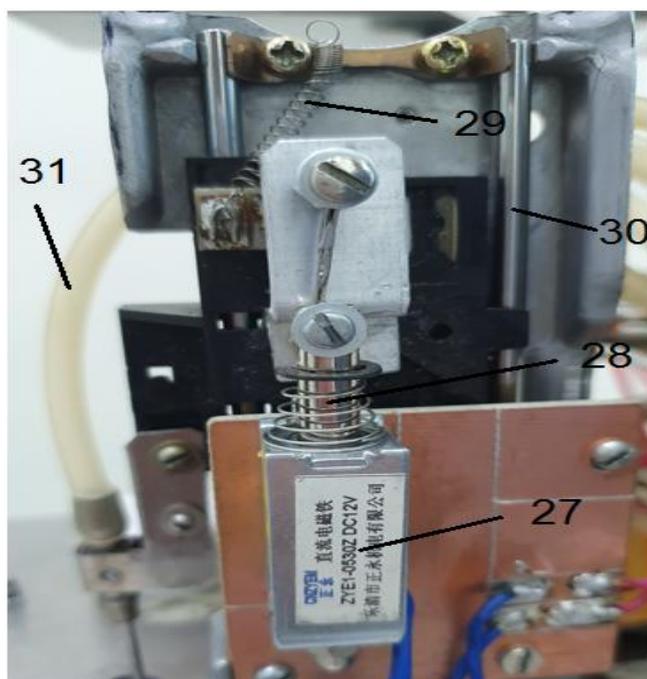


Рисунок 25 – Фильера с 12-ю инжекторами

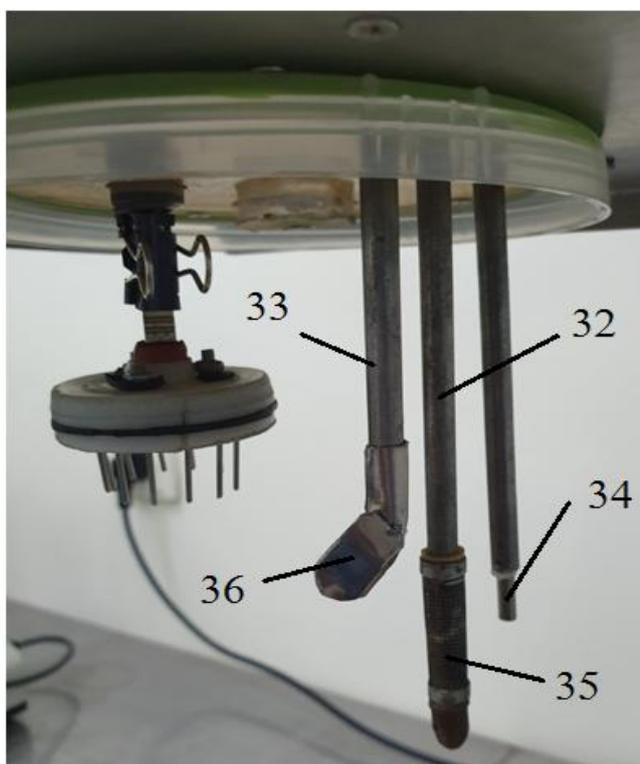
При этом на срезе инжектора формируется капля жидкости, которая под действием силы тяжести отрывается от сопла инжектора и падает в формообразующую жидкость. При этом происходит встряхивание фильеры, помогающее капле отрываться от инжектора. Наличие встряхивателя позволяет получать капли одинакового размера и соответственно получать стабильные размеры капсул в соответствии с рисунком 26. Капли, состоящие из водного раствора 1% альгината натрия и 1% желатина попадая в формообразующую жидкость, представляющую из себя хлорид кальция, взаимодействуют с хлоридом. В результате химической реакции получается альгината хлорид, который в результате охлаждения загустевает, образуя сферические капсулы правильной формы.



27 – электромагнит; 28– шток; 29 – натяжная пружина;
30 – направляющие; 31 – трубопровод фильеры

Рисунок 26 – Встряхиватель

Во избежание слипания капсул формообразующая жидкость интенсивно перемешивается в соответствии с рисунком 27. При этом циркуляционным насосом 10 формообразующая жидкость всасывается через входной патрубок 32, снабженный фильтрующей сеткой 35, и выбрасывается через выходной патрубок 32 с направляющей насадкой 36, под углом к оси вращения емкости для раствора 3 в соответствии с рисунком 28. В результате воздействия центробежных сил формообразующая жидкость перемешивается, препятствуя слипанию вновь образованных капсул.



32 – входящий патрубок; 33 – выходящий патрубок; 34 – термодатчик;
35 – фильтрующая сетка; 36 – направляющая насадка

Рисунок 27 – Система перемешивания формообразующей жидкости

После выработки водного раствора гелеобразующей смеси оборудование отключают и полученные капсулы фильтруют от формообразующей жидкости промывают в дистиллированной воде.

2.4 Приборы и методика экспериментов

2.4.1 Определение вязкости водного раствора гелеобразующей смеси

Как известно, аналоговые вискозиметры с круговой шкалой являются простыми и удобными в использовании.

Для проведения измерений вязкости, необходимо зафиксировать основное рабочее тело вискозиметра на вертикальной цилиндрической штанге. В корпусе вискозиметра, на выходной вал электродвигателя крепится ротор. Частота вращения регулятора скорости вращения ротора находится в пределах от 0 до 100 об/мин. Круговой циферблат со шкалой деления располагается на корпусе вискозиметра в соответствии с рисунком 28 [75].

Методология измерения вязкости состоит из нескольких этапов:

Подготовка пробы, путем размещения ее в химической посуде объемом не менее 600 мл.



1 - штанга; 2 - станина; 3 - зажим; 4 - ротор; 5 - регулятор скорости; 6 - винт; 7 - круговая шкала; 8 - защитная рамка

Рисунок 28 - Аналоговый вискозиметр Брукфелда с круговой шкалой

Выбор подходящего наконечника ротора и его крепление к выходному валу ротора. Тип необходимого наконечника определяется а зависимости от вязкости исследуемой жидкости. С целью проведения измерений в гелеобразных средах, необходимо использовать наконечник ротора № 4. Использование других типов наконечников, не соответствующих типу измеряемой смеси, не даст адекватных результатов измерения.

1. Помещение рабочего элемента в исследуемую пробу.
2. Включение вискозиметра.
3. Определение необходимой скорости вращения ротора.
4. Стабилизация показаний (время стабилизации определяется в среднем после 5 оборотов ротора и находится в прямой зависимости от скорости вращения и характеристик исследуемой жидкости).

5. Снятие показаний с круговой шкалы.

В соответствии с номером использованного ротора и скоростью вращения, определяется табличный коэффициент, на который нужно умножить показания с круговой шкалы вискозиметра. Если необходимо получить данные в мПа·с, данные с круговой шкалы вискозиметра необходимо умножить на фактор F (табличный коэффициент), соответствующий определенному ротору [76].

2.4.2 Определение гранулометрического состава капсул

Для определения гранулометрического состава полученного продукта использовали оптический микроскоп [77, 78].

Для получения качественного изображения исследуемого объекта на оптическом микроскопе, необходимо настроить освещение до начала работы. Для этого необходимо ввести объектив меньшего увеличения (10 и менее) в ход лучей, а также откидную линзу конденсора. Затем нужно до упора поднять рукояткой кронштейн с конденсором и полностью раскрыть апертурную диафрагму конденсора. После этого нужно включить подсветку объекта и отрегулировать свет лампочки. Необходимо обратить внимание на то, что при проведении наблюдений и исследований с оптическим микроскопом, яркий боковой свет может очень мешать, в частности, при работе с сильными окулярами [77, с. 45].

Для получения качественного изображения объекта, находящегося на предметном столике, необходимо сфокусировать микроскоп, при этом, посторонние экранирующие предметы в выходном зрачке необходимо устранить. Также, работая с другими объективами, необходимо проверять заполнение светом выходного зрачка объектива.

При использовании объективов с увеличением более X10, необходимо вывести из хода лучей откидную линзу конденсора и вставить окуляр.

Если необходимо уменьшить яркость освещаемого поля или изменить контраста объекта, можно воспользоваться светофильтром, установив его в откидную рамку конденсора.

Для определения размера капсулу следует поместить на миллиметровую бумагу в соответствии с рисунком 29.

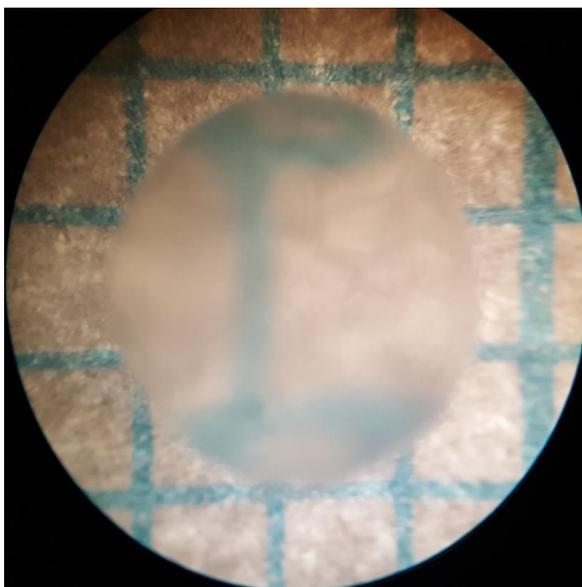


Рисунок 29 – Капсула на миллиметровой бумаге

По сетке миллиметровой бумаги посчитали примерный радиус капсулы, который составил $2,5 \cdot 10^{-3}$ м.

2.4.3 Определение упругопластической деформации капсул

Взяв за основу пенетрометр с игольчатыми инденторами [79] нами была разработана экспериментальная установка для определения прочности капсул, показанная на рисунке 30. Установка состоит из основания 1, на которой установлен корпус прибора 2, на корпусе закреплены направляющие 7, по которым перемещается подвижная рама 5. На подвижной раме сверху установлена горизонтальная площадка для разновесов 3. Под площадкой имеются подвижная и неподвижная пластины 6, предназначенные для раздавливания капсул.



1 – основание; 2 – корпус; 3 – площадка для разновесов; 4 – измерительная шкала; 5 – подвижная рама; 6 – площадки для раздавливания капсул; 7 - направляющие

Рисунок 30 - Экспериментальная установка для определения прочности капсул

Установка работает следующим образом: капсула помещается между двумя пластинами 6, на площадку 3 кладется разновес требуемой массы (в нашем случае в пределах от 3 до 10 г. плюс вес самой рамы) и рама 5 опускается. Масса разновеса подбирается таким образом, чтобы разница между высотой капсулы до и после раздавливания была в пределах от 30 до 70 %. Засекается время, которое составляет 3 минуты. Показания снимаются с помощью электронного штангенциркуля. Можно провести измерения так же с помощью оптического микроскопа, помещая капсулу на миллиметровую бумагу

и измеряя, таким образом, размер деформации капсулы. Разницу между высотой капсулы до и после раздавливания заносили в таблицу.

Модуль упругопластической деформации капсул определяли по формуле:

$$E_{уп} = \frac{Pd}{Sf} \quad (2.1)$$

где: P – сжимающая нагрузка, Н; d –диаметр капсулы, м; S –площадь нагружения, м²; f – укорочение в направлении действия усилия, $f = d - h$, м; h –высота капсулы после нагружения, м [80].

2.4.4 Методика пробоподготовки капсул и измерения диаметра инжекторов

В целях определения микроструктуры капсул и измерения геометрических размеров инжекторов, был использован низковакуумный аналитический растровый электронный микроскоп (РЭМ) «JSM-6390LV» фирмы «JEOL» (Япония), в комплекте с системой рентгеновского микроанализа «INCA ENERGY 250» фирмы «OXFORD INSTRUMENTS» (Великобритания). Данный микроскоп дает возможность определения структуры материала в режимах высокого и низкого вакуума с увеличением от 30 до 300000 раз, определять поэлементный химический состав исследуемого образца с точностью до 0,1% и производить картирование расположения химических элементов в образце [81- 83].

Определение диаметра инжектора не требует какой-либо пробоподготовки. Для измерения диаметра инжектор прикрепляли к предметному столику с помощью специального угольного двухстороннего скотча и проводили измерения.

Процесс пробоподготовки капсул представлен ниже:

1 Капсулы помещаются в растворы изопропилового спирта содержанием 30, 50 и 70% в указанной последовательности. В каждом растворе капсулы выдерживаются по 3 часа и после этого помещаются в емкость со 100% изопропиловым спиртом, в которой их выдерживают не менее 6 часов для обезвоживания капсул [84- 86].

2 После этого капсулы помещаются в растворы трет-бутилового спирта с 30, 50 и 70% концентрацией, в указанной последовательности, а затем в 100% трет-бутиловый спирт для замещения изопропилового спирта. Учитывая, что 100% третбутиловый спирт способен замерзнуть при температуре +25 °С, происходит фиксация структуры капсулы в «замороженном» виде.

3 «Замороженная» капсула, зафиксированная в трет-бутиловом спирте, помещается на замораживающий столик ОЛ-30 [87] санного микротомы МС-2 [88], на котором производится срезание слоев капсулы, для обеспечения доступа к внутренней структуре капсулы.

4 В лиофильной сушке JFD-320 фирмы «JEOL» (Япония) [89] под действием вакуума происходит переход трет-бутилового спирта из замороженного состояния сразу в парообразное. Это позволяет удалить третбутиловый спирт с капсулы и сохранить структуру капсулы в неизменном виде.

5 Затем в вакуумной напыляющей установке JEE-420 фирмы «JEOL» (Япония) [90], осуществляют напыление углеродного слоя на поверхность среза капсулы, что дает возможность получения более контрастных изображений.

6 Подготовленные капсулы крепятся на предметном столике с помощью двухстороннего углеродного скотча. Затем предметный столик помещается в камеру микроскопа и производится сканирование поверхности образцов.

2.4.5 Определение энергетических характеристик экспериментальной установки (установка для капсулирования)

Для экономичного проведения получения капсул следует учитывать общий расход энергии за время, необходимое для обеспечения заданного результата при образовании капсул. При образовании капсул общий расход энергии зависит от многих факторов (вязкости сырья, частоты вращения перистальтического насоса, частоты встряхивателя, диаметра инжекторов и т.д.). Для определения энергетических характеристик экспериментальной установки для капсулирования 4 применялся мультиметр 1 в режиме определения переменного тока [91] в соответствии с рисунком 31.

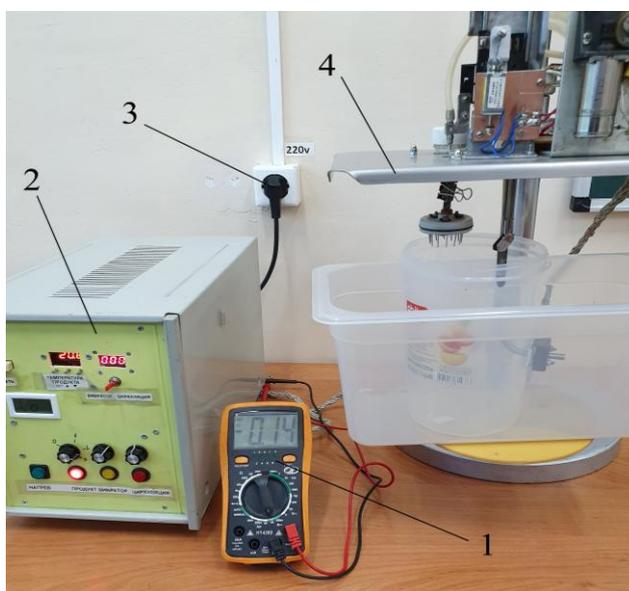


Рисунок 31 – Стенд для снятия энергетических характеристик установки

При проведении эксперимента экспериментальная установка подключается к розетке 3 и производится включение установки с помощью выключателей, расположенных на лицевой панели блока управления 2. Далее водный раствор гелеобразующей смеси загружали в загрузочный бункер установки и проводили получение капсул. Для измерения силы тока,

напряжения записывали соответствующие значения электрических величин на приборах с помощью камеры смартфона. После чего результаты измерений считывались с полученного видеоролика в пошаговом режиме. Полученные значения заносились в табличный процессор Microsoft Excel и обрабатывались.

Выводы по 2 главе

1. Разработана схема проведения эксперимента.
2. Разработана методика получения инкапсулированных пробиотиков в водный раствор гелеобразующей смеси.
3. Разработана экспериментальная установка для определения прочности капсул.
4. Разработана методика определения прочности капсул.

3 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

3.1 Обоснование и выбор конструкции оборудования

Как известно, в условиях напряженного состояния, при приложении силы, поведение неньютоновских жидкостей характеризуется напряжением, геометрическими размерами канала и скоростью истечения жидкости [92].

В реальных условиях работы машины имеет место сочетание всех свойств, в то же время в зависимости от направленности процесса превалирует один из них.

Модели, которые характеризуются упругостью и вязкостью, составляют совокупность тел механической модели реологического тела продукта. Их деформационное поведение описывается реологическими уравнениями [92, с. 14].

Гелеобразное сырье с помощью использования перистальтического насоса и нагнетания давления, испытывает мгновенно-упругую деформацию (G) и, в дальнейшем, при напряжении, превышающем предел текучести (θ_t), замедленно вязкопластическую (η) деформацию. Под действием давления и испытываемых деформаций, гелеобразное сырье попадает в фильеру и истекает через инжекторы, образуя капли и, в дальнейшем, образует капсулы.

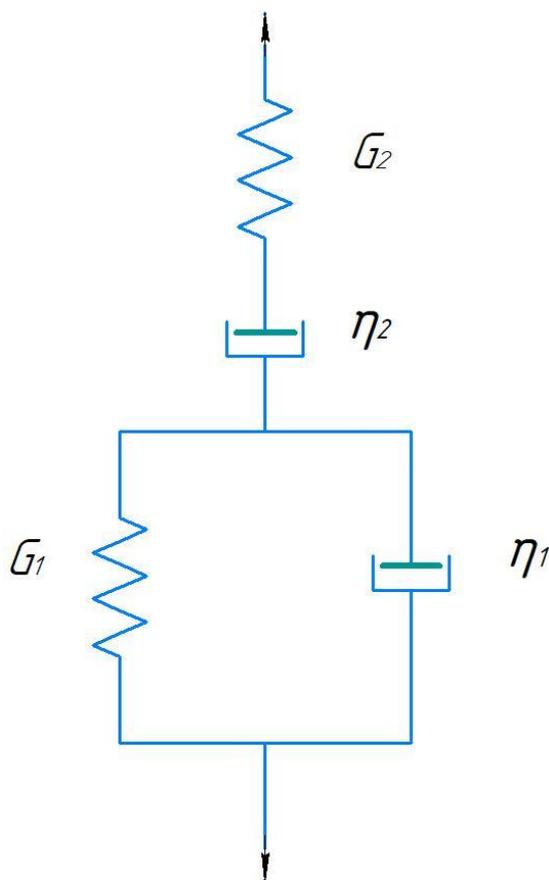
Используя механические модели Бингама [92, с.18], Шведова [93], Шоффильда-Скоттблера [94], Пелега [95] и проведения обоснования с целью описания поведения гелеобразного сырья при механическом воздействии, можно получить механическую модель реологического тела. Данная модель реологического тела представляет собой модель Бюргерса [96] в соответствии с рисунком 32 [92, с. 20], т.е. последовательную механическую модель вязко-упругого релаксирующего тела Максвелла и вязко-упругого тела Кельвина – Фойгта для гелеобразной среды.

Таким образом, общая деформация гелеобразного сырья для данной модели представляет собой сумму деформаций тела Максвелла и элемента, моделирующего поведение сырья, которое отражает явление упругого последствия, представляющее собой изменение упругой деформации с течением времени

$$\Delta\gamma = \Delta\gamma_M + \Delta\gamma_K, \quad (3.1)$$

где, $\Delta\gamma_M$ – деформация модели Максвелла;

$\Delta\gamma_K$ - деформация модели Кельвина – Фойгта



G_1 - модуль мгновенной эластичной деформации, Па; G_2 - модуль замедленной упругой деформации, Па; η_1 – ньютоновская вязкость, Па·с; η_2 – пластическая вязкость при сдвиге, Па·с

Рисунок 32 – Механическая модель Бюргерса

Производная по времени от левой и правой частей уравнения (3.1) имеет вид:

$$\frac{d\gamma}{d\theta} = \frac{d\gamma_M}{d\theta} + \frac{d\gamma_K}{d\theta}. \quad (3.2)$$

Реологическое уравнение модели Максвелла [92, с. 17] определяет величину $\frac{d\gamma_M}{d\theta}$:

$$\frac{d\gamma_M}{d\theta} = \frac{1}{G_1} \frac{\theta}{d\theta} + \frac{\theta \cdot t}{\eta_1} \quad (3.3)$$

Величина $\frac{d\gamma_K}{d\theta}$ определяется реологическим уравнением модели Кельвина - Фойгта [80, с. 304; 92, с. 16]:

$$\frac{d\gamma_K}{d\theta} = \left(\frac{\theta}{G_2 \cdot d\theta} \right) \cdot [1 - e^{(-G_2 \cdot t/\eta_2)}] \quad (3.4)$$

Подставляя это значение в выражение (3.2) получим уравнение Бюргера для гелеобразного сырья [92, с. 19]:

$$\dot{\gamma} = \frac{\theta}{G_1} + \frac{\theta \cdot t}{\eta_1} + \left(\frac{\theta}{G_2} \right) \cdot [1 - e^{(-G_2 \cdot t/\eta_2)}] \quad (3.5)$$

где: $\dot{\gamma}$ - градиент скорости, с^{-1} ; G_1 - модуль мгновенной эластичной деформации, Па; G_2 - модуль замедленной упругой деформации, Па; η_1 - ньютоновская вязкость, Па·с; η_2 - пластическая вязкость при сдвиге, Па·с; θ - касательное напряжение, Па; t - время, с.

Полученная математическая модель с достаточной точностью позволит описать процесс истечения гелеобразной жидкости из инжектора для экспериментальной установки. Представленная модель применима к установкам с подобным принципом действия, вне зависимости от их габаритов.

3.2 Расчет движения гелеобразующей смеси в цилиндрическом канале

Математическое моделирование является удобным инструментом для описания различных процессов как с качественной, так и с количественной стороны.

Полноценная математическая модель процесса должна включать описание основных переменных процесса в установившихся режимах (статическая модель) и переменных, изменяющихся во времени (динамическая модель), а также учитывать их взаимосвязи и взаимное влияние друг на друга [97].

Таким образом, адекватная математическая модель должна включать основные переменные процесса и связи между основными переменными в статике, граничные условия процесса, критерии и функции оптимальности, связи между основными переменными в динамике [98, 99].

Как правило, статическая модель представляет собой стандартную схему с входными и выходными параметрами процесса, которая не меняется во времени. В основном, к этим параметрам относятся те переменные, которые можно целенаправленно изменять и их изменение непосредственно будет оказывать влияние на ход процесса. Основной задачей является определение взаимосвязей между указанными переменными и граничными условиями протекания процесса [97, с.10].

В свою очередь, динамическая модель представляет собой передаточные функции, которые связывают выбранную зависимую переменную с одной или несколькими переменными, теоретически полученных обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений в частных производных,

включающих все необходимые зависимые или независимые переменные и т.д. Математическое описание динамических моделей включает производную по времени [97, с.10].

Для того, чтобы построить полноценную математическую модель процесса, рассмотрим установившееся ламинарное течение жидкости в цилиндрическом канале постоянного радиуса R в положительном направлении оси x в соответствии с рисунком 33 [92, с. 22]. Сумма сил, действующих на элемент жидкости длиной dx , должна быть равна нулю.

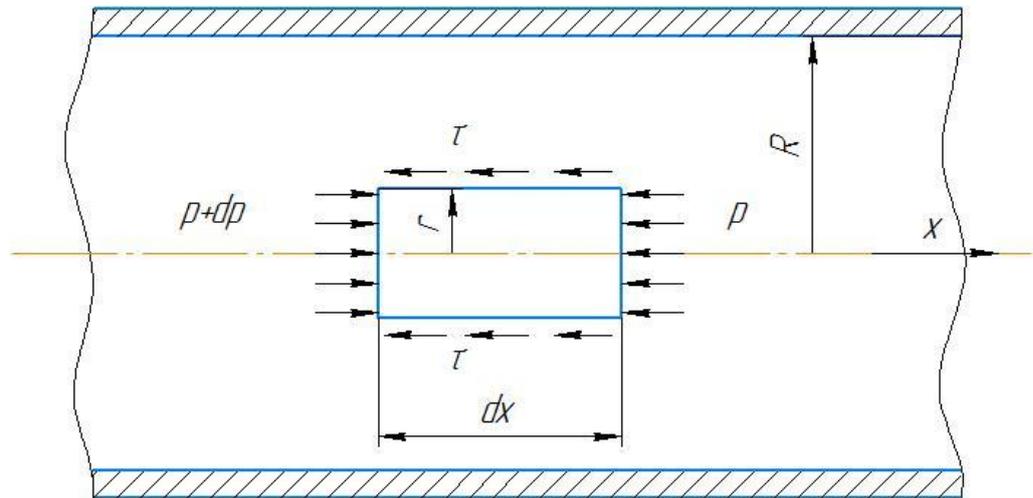


Рисунок 33 – Схема сил, действующих на элемент жидкости

$$\pi r^2(p - dp) - \pi r^2 p - 2\pi r dx \theta = 0, \quad (3.6)$$

откуда

$$\theta = r dp / 2 dx \quad (3.7)$$

При $r = R$ касательное напряжение на стенке равно [92, с. 22]

$$\theta_{ст} = R dp / 2 dx \quad (3.8)$$

Следовательно,

$$\theta = \theta_{ст} r / R \quad (3.9)$$

Объемный расход жидкости через элементарное кольцо с радиусами r и $r + dr$ [92, с. 22]

$$dV_c = u \cdot 2\pi r dr, \quad (3.10)$$

где, u – скорость жидкости на расстоянии r от оси канала, м/с

Общий расход жидкости в канале [92, с. 22]

$$V_c = \pi \int_0^R u \cdot 2rdr, \quad (3.11)$$

учитывая, что $d(r^2) = 2rdr$, тогда

$$V_c = \pi \int_0^R u d(r^2), \quad (3.12)$$

Интегрируя по частям, получим [92, с. 22]

$$V_c = \pi [ur^2 - \int r^2 du]_0^{R^2}, \quad (3.13)$$

Допуская, что проскальзывание жидкости относительно стенки канала отсутствует ($u = 0$), поэтому первое выражение в квадратных скобках равно нулю ($ur^2 = 0$) [92, с. 22]. Постоянство параметров жидкости во времени и ламинарность рассматриваемого потока позволяет отметить, что [92, с. 22]

$$du = -f(\theta)dr$$

из выражения (3.9)

$$r^2 = \frac{R^2\theta^2}{\theta_{ct}^2}; \quad dr = Rd\theta/\theta_{ct}, \quad (3.14)$$

Подставив эти значения в уравнение (3.13), получим [92, с. 22]

$$V_c = \pi \int_0^{\theta_{ct}} \left(\frac{R^2\theta^2}{\theta_{ct}^2} \right) f(\theta) d\theta, \quad (3.15)$$

или

$$V_c/\pi R^3 = (1/\theta_{ct}^3) \int_0^{\theta_{ct}} \theta^2 f(\theta) d\theta, \quad (3.16)$$

Подставляя в уравнение (3.16) выражение

$f(\theta) = \theta/G_1 + \theta t/\eta_1 + \theta/G_2 \left[1 - e^{-G_2 t/\eta_2} \right]$, справедливое для течения реологического тела Бюргерса [92, с. 19], после интегрирования, получим

$$V_c = \frac{\pi R^3}{4\eta_2 \theta^3} e^{-\frac{G_2 t}{\eta_1}} \left(G_1 \eta_2 e^{\frac{G_2 t}{\eta_1}} + G_2 \eta_2 e^{\frac{G_2 t}{\eta_1}} - G_1 \eta_2 + t e^{\frac{G_2 t}{\eta_1}} \right). \quad (3.17)$$

Исходя их формулы 3.12, получаем выражение:

$$u = \frac{V_c}{\pi R^2} = \frac{R\theta_{ct}^4 e^{-\frac{G_2 t}{\eta_1}}}{4\eta_2 \theta^3} (G_1 \eta_2 e^{\frac{G_2 t}{\eta_1}} + G_2 \eta_2 e^{\frac{G_2 t}{\eta_1}} - G_2 \eta_2 + t e^{\frac{G_2 t}{\eta_1}}) \quad (3.18)$$

3.3 Разработка операторной и технологической схем установки для капсулирования

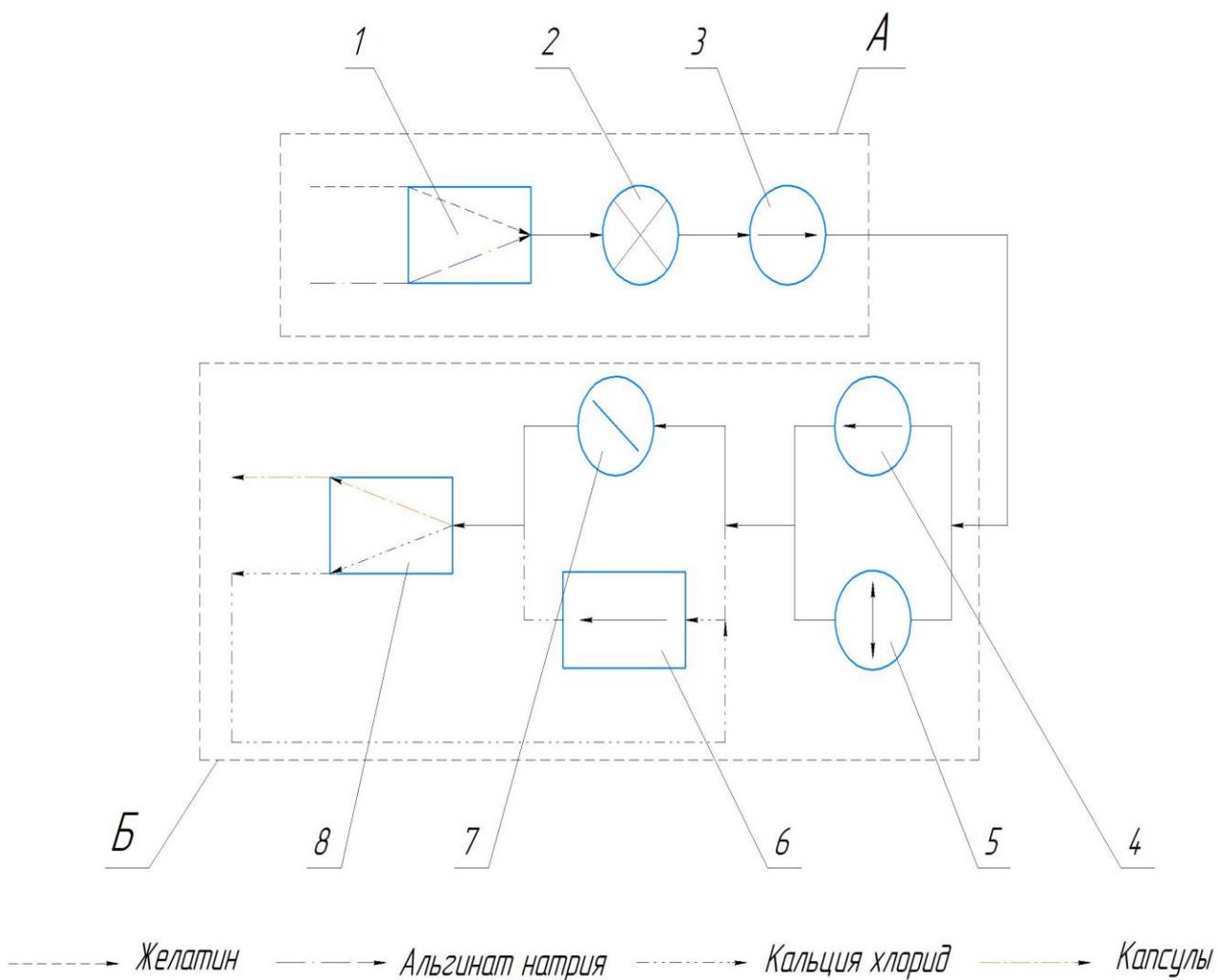
На основе математической модели предложена новая операторная схема получения капсул на экспериментальной установке.

Операторная схема позволяет оптимизировать режимные показатели технологического процесса в рамках фиксированной технологической схемы [100, 101].

Рассмотрим схему более детально в соответствии с рисунком 34. Альгинат натрия и желатин в соответствующих пропорциях смешиваются (оператор 1) и подаются на термостат (оператор 2), в котором сырье подогревается до требуемой температуры. Далее перистальтическим насосом (оператор 3) смесь подается на инжекторы (оператор 4). С помощью инжекторов и встряхивателя (оператор 5) образуются капли раствора, соответствующего требуемым размерам, которые падают в раствор кальция хлорида. При взаимодействии альгината натрия с кальция хлоридом, образуется оболочка (оператор 7) состоящая из кальция. Для того, чтобы полученные капсулы не слипались раствор кальция хлорида постоянно перемешивается (оператор 6) посредством циркуляционного насоса. Полученные капсулы фильтруются (оператор 8) от раствора кальция хлорида и подаются на дальнейшую обработку.

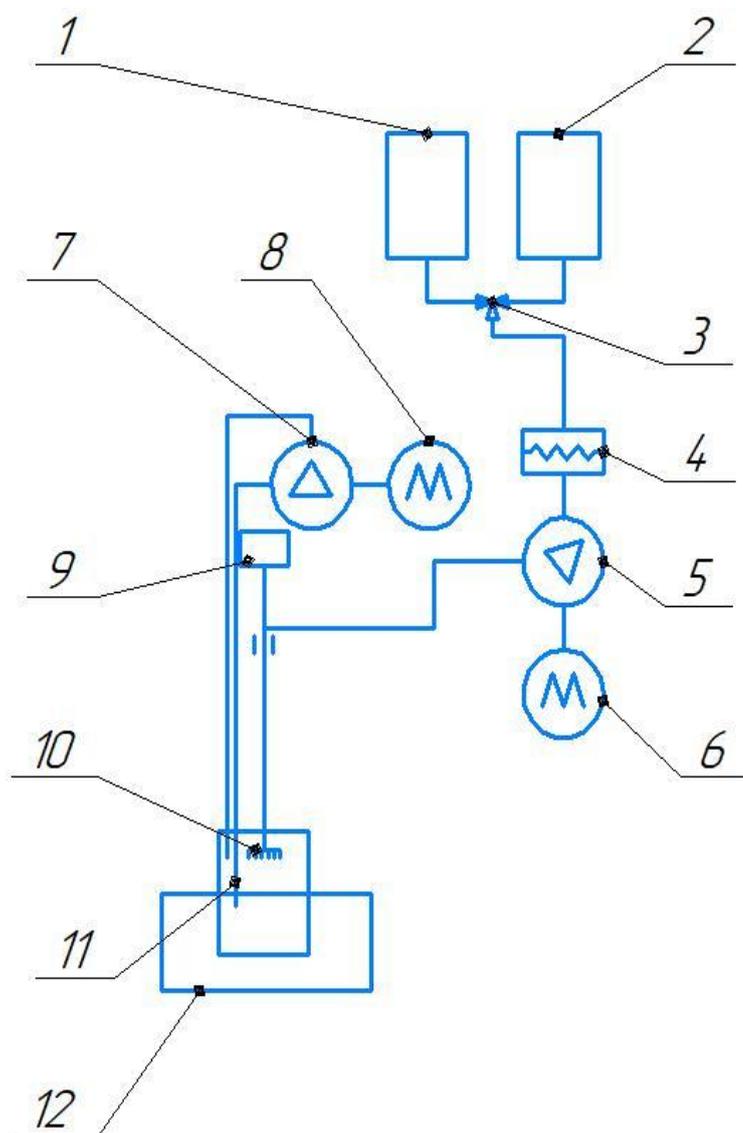
Таким образом, разработанная операторная схема получения капсул позволит разработать технологическую схему, на основе которой можно вырабатывать капсулы с добавлением различных пробиотиков, БАДов и т.д. с минимальным расходом сырья и энергии.

На основе операторной схемы построили технологическую схему установки, показанную на рисунке 35 [74, с.108].



А – подсистема образования гелеобразующей смеси: 1 – смешивание; 2 – термостатирование; 3 – нагнетание; Б – подсистема образования капсул: 4 – каплеобразование; 5 – встряхивание; 6 – перемешивание; 7 – формообразование; 8 – фильтрование.

Рисунок 34 – Операторная схема установки для получения капсул



1 – емкость для рабочей смеси; 2 – емкость для промывной жидкости; 3 – вентиль-пернключатель; 4 – термостат; 5 – перистальтический насос; 6 – мотор привода перистальтического насоса; 7 – циркуляционный насос; 8 – мотор привода циркуляционного насоса; 9 – встряхиватель; 10 – фильера с инжекторами; 11 – емкость для формообразующего раствора; 12 – емкость для охлаждения (льда)

Рисунок 35 – Технологическая схема установки для инкапсулирования

В емкость 1 для рабочей смеси заливается водный раствор гелеобразующей смеси (представляющий из себя смесь 1% альгината натрия с добавлеием 1% желатина). В емкость 2 заливается промывная жидкость для промывки системы после выполнения работы. С помощью вентилятора-переключателя 3 растворы из емкостей 1 и 2 подаются в общую систему. Термостат 4 предназначен для поддержания температуры жидкости в системе на должном уровне. (40 град)

Перистальтический насос 5 подает жидкость в фильеру с инжекторами 10, где образуются капли. Встряхиватель 9 предназначен для регулировки размеров капель, путем встряхивания капель с инжекторов за счет встряхивания фильеры. Циркуляционный насос 7 предназначен для перемешивания формообразующей жидкости, что не позволяет каплям слипаться при образовании капсул. Капсулы образуются в формообразующей жидкости, представляющий из себя хлорид кальция, за счет химического преобразования альгината натрия в хлорид альгината натрия при реагировании капель альгината натрия с формообразующей жидкостью. Для охлаждения формообразующей жидкости емкость 11 помещается в лед (емкость 12).

После получения капсул проводится отделение капель от формообразующей жидкости с помощью фильтрующей сетки (на схеме не указано, т.к. не входит в состав оборудования).

3.4 Образование капель на инжекторе

На основании предварительных экспериментов было принято решение использовать капельный способ формирования капсул. При этом на срезе инжектора формируется капля жидкости, которая под действием силы тяжести отрывается от сопла инжектора и, минуя воздушный слой, падает в охлаждающую жидкость. Жидкость специального состава, содержит компонент, формирующий на поверхности образовавшейся шарообразной капсулы поверхностный слой, обеспечивающий заданные защитные свойства [102, 103].

Форма и размер капли, отрывающейся от конца капиллярной трубки инжектора, зависят от диаметра трубки, поверхностного натяжения и плотности жидкости в соответствии с рисунком 36. Эта зависимость лежит в основе методов определения поверхностного натяжения жидкостей по массе капель, отрывающейся от вертикальной цилиндрической трубки, и по форме капли, висящей на конце трубки.

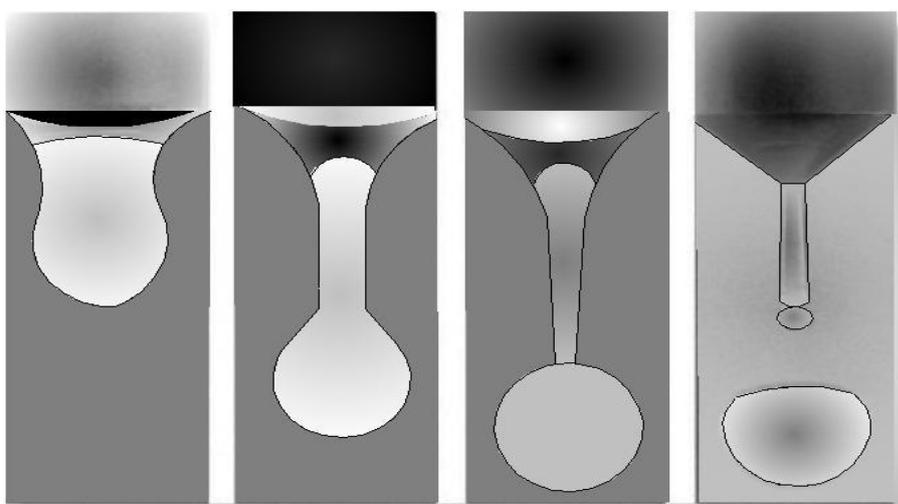


Рисунок 36 – Отрыв капли от инжектора

В основе расчетов лежит закон, согласно которому вес капли, отрывающейся от конца инжектора, пропорционален поверхностному натяжению жидкости и радиусу инжектора [104]. Сила поверхностного натяжения – это сила пропорциональная длине границы между жидкостью и капилляром [104].

$$F = 2\pi R\sigma \sin\alpha, \quad (3.19)$$

$$mg = 2\pi r\sigma \sin\alpha \quad (3.20)$$

В состоянии равновесия формула принимает вид [104].

$$mg = 2\pi r\sigma, \quad (3.21)$$

где: m – масса капли, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

r – радиус инжектора, м;

σ – поверхностное натяжение жидкости, кг/с² [104].

Тогда масса капли достаточная для отрыва от капилляра:

$$m = \frac{2\pi r\sigma}{g}, \quad (3.22)$$

Объем единичной сферы (капсулы) при заданных условиях составит:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,00145^3 = 1,27 \cdot 10^{-8}, \text{ м}^3$$

где: R – радиус капсулы, м.

Объем, занимаемый одной капсулой составит

$$V_S = (0,0029)^3 = 2,43 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$$

Коэффициент заполнения при послойном рядном заполнении:

$$K_{з-р} = \frac{V}{V_S} = \frac{1,27 \cdot 10^{-8}}{2,43 \cdot 10^{-8}} = 0,523.$$

При плотной упаковке капсул коэффициент заполнения пространства будет выше [105]:

$$K_{з-п} = \sqrt{6} \cdot \frac{d}{3} = 0,816 \cdot d;$$

где, d — диаметр капсулы, м.

Это следует из тетраэдрального расположения сфер в плотной упаковке. В нашем случае формирование слоев происходит по тетраэдральному расположению.

Таким образом, в одном литре объема (1000 мм^3) будет располагаться $V_n=0,816 \text{ м}^3$ капсул. Плотность смеси компонентов, из которых формируется капсула по результатам предварительных измерений составляет $\rho_s=892 \text{ кг/м}^3$. Масса капсул, занимающих объем $V_k=1000 \text{ мл}$ (1 литр) будет [105, с.72]:

$$m_o = \rho_s \cdot V_n = 892 \cdot 0,816 = 0,728 \text{ кг.}$$

$$V_z = \frac{m_k \cdot V_k}{m_o} = \frac{1 \cdot 1}{0,728} = 1,374 \text{ м}^3$$

Для получения одного килограмма капсул m_k необходимо получить $V_z=1,374 \text{ м}^3$ объема, заполненного капсулами. Это будет соответствовать заданной производительности в час.

3.5 Разработка инженерной методики расчета рабочих органов оборудования для инкапсулирования пробиотиков

Инжекторы на фильтре капсулятора размещаем по периметрам концентрических окружностей.

Изначально для экспериментальной установки была изготовлена фильера с количеством концентрических окружностей $a=1$ и количеством инжекторов $n_o=12$ в соответствии с рисунком 37. Однако данное количество инжекторов не соответствовало производительности установки.

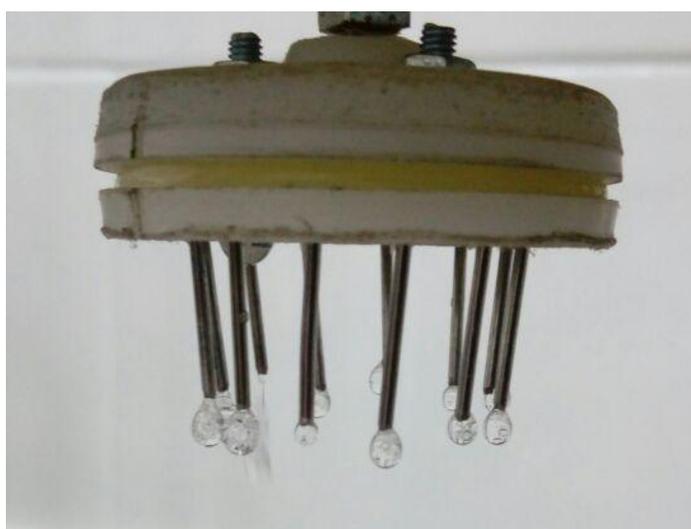


Рисунок 37 – Фильера с 12-ю инжекторами

Количество окружностей принимаем $a = 3$, как минимально достаточное.

Количество инжекторов, размещенных по окружностям, рассчитываем по формуле [106]:

$$n_0 = 3a^2 + 3a + 1, \text{ шт.} \quad (3.23)$$

где, $a = 3d$ расстояние между центрами инжекторов;
 n_0 – теоритическое количество инжекторов.

Площадь прохода жидкости по инжекторам [106, с. 96]:

$$f = \pi \cdot r^2 n_0, \text{ м}^2 \quad (3.24)$$

где, r - внутренний радиус инжектора, м;

Сопротивление инжекторов фильеры при переходе жидкости в инжекторах [106, с. 99]:

$$H = \chi \cdot \frac{\omega^2}{2g}, \quad (3.25)$$

где: ω - скорость движения жидкости по инжекторам, с^{-1} ;
 χ - сумма коэффициентов гидравлических сопротивлений.

Диаметр фильеры определяется по формуле [106, с. 92]:

$$D = t(b - 1) + d_H + 2t_0, \text{ м} \quad (3.26)$$

где: t - расстояние между центрами соседних инжекторов, м;
 d_H – наружный диаметр капилляров, м
 b – количество капилляров по диагонали шестиугольника [106, с. 92]

$$b = 2a + 1, \text{ шт} \quad (3.27)$$

Расстояние между центрами инжекторов определяется [106, с. 93]

$$t = \varphi d_k, \text{ м} \quad (3.28)$$

где: φ - коэффициент заполнения поверхности фильеры;
 d_k – диаметр капли, м

Секундную производительность установки определяем по формуле [106, с. 97]:

$$V_c = \pi \cdot r^2 u \cdot n_{\text{п}} , \quad \text{м}^3/\text{с} \quad (3.29)$$

где: n_n – практическое количество инжекторов в фильере;
 u – скорость жидкости в капилляре, м/с.

Тогда общую производительность установки определяем по формуле:

$$M = \pi \cdot r^2 u \cdot n_{\text{п}} \cdot 3600 \cdot \rho_p , \text{ кг/ч} \quad (3.30)$$

где: ρ_p – плотность гелеобразующей смеси.

В результате расчетов была изготовлена фильера с 33 инжекторами, как показано на рисунке 38.

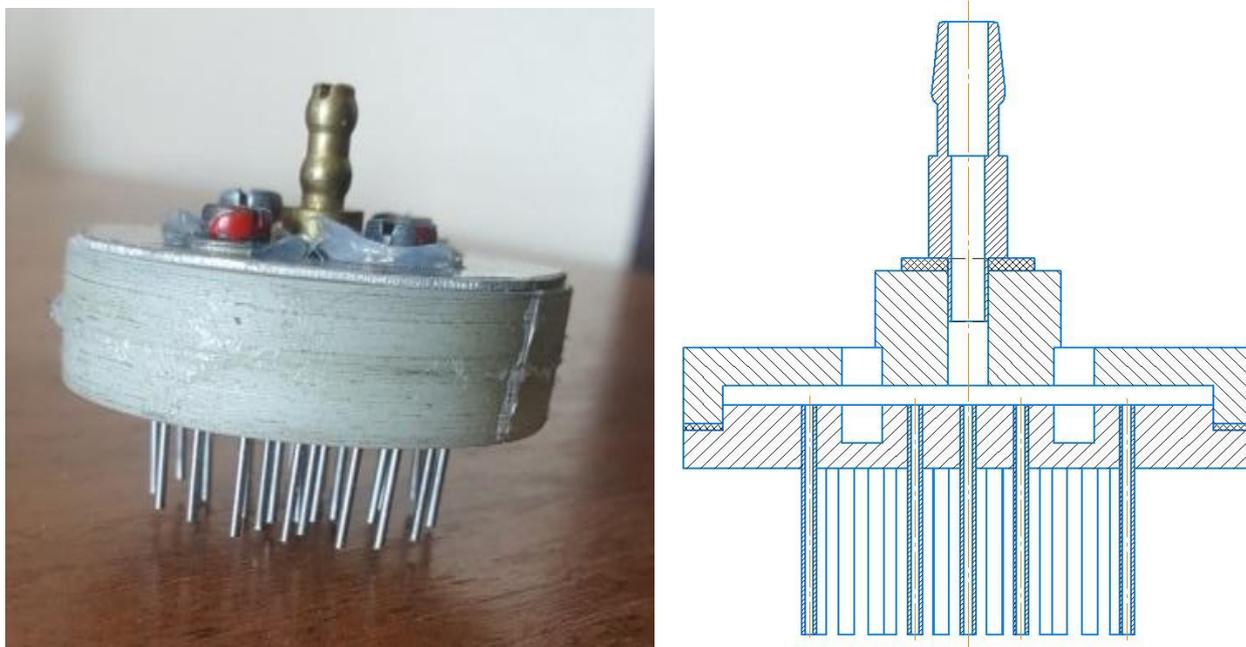


Рисунок 38 – Фильера с 33 инжекторами

3.6 Проверка адекватности математической модели

Комплексные экспериментальные исследования процесса получения капсул с целью оценки соответствия результатов экспериментов с аналитическими исследованиями, проведенными на основе изучения сил взаимодействия сырья с рабочими органами установки, проводим в рамках полученных аналитических данных.

С целью практической реализации полученных аналитических данных, сначала необходимо провести их проверку на адекватность, т.е. валидацию математической модели (насколько точно они описывают экспериментальные данные). Валидация разработанной математической модели является одним из

наиболее важных этапов исследования. Проверка адекватности математической модели проводилась по методике [97, с.10; 107-109].

Средние значения вязкости гелеобразующей смеси, полученные в каждом опыте, определялись следующим образом:

$$\theta_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta_i \quad (3.31)$$

где, N – количество проведенных экспериментов

Далее по уравнению модели (3.31) были определены расчетные средние значения вязкости для каждого опыта в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 - Значения вязкости в каждом опыте

Температура гелеобразующей смеси, t, °C	Частота вращения ротора вязкозиметра, ω , c^{-1}	Вязкость гелеобразующей смеси, η_1 , Па·с	Вязкость гелеобразующей смеси, η_2 , Па·с	Вязкость гелеобразующей смеси, η_3 , Па·с	Вязкость гелеобразующей смеси, η_4 , Па·с	Вязкость гелеобразующей смеси, η_5 , Па·с	Вязкость гелеобразующей смеси, η_{cp} , Па·с
50	0,067	357	351	346	351	345	350
	0,167	272	270	283	288	287	280
	0,333	247	246	251	252	254	250
	0,833	197	205	201	207	210	204
40	0,067	412	398	395	392	403	400
	0,167	318	322	323	320	317	320
	0,333	288	287	274	281	270	280
	0,833	232	238	232	231	247	236
30	0,067	541	557	546	560	546	550
	0,167	474	453	454	463	456	460
	0,333	393	384	380	399	394	390
	0,833	310	305	325	327	313	316
20	0,067	907	907	891	898	897	900
	0,167	715	726	714	723	722	720
	0,333	584	591	586	592	597	590
	0,833	439	436	430	427	428	432

Затем по полученным данным была рассчитана остаточная дисперсия:

$$S_o^2 = \frac{m \sum_{i=1}^N (\eta_{p_i} - \eta_{cpi})^2}{N-1} \quad (3.32)$$

где: m – число оцениваемых параметров (коэффициентов) при независимых переменных, в нашем случае $m = 1$; и дисперсия воспроизводимости:

$$S_{\text{вос}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N-1} \quad (3.33)$$

где S_i^2 – выборочная дисперсия, определяемая для каждого опыта.

В результате расчетов по формулам (3.32) и (3.33) получены следующие значения:

$$S_o^2 = 27,5; \quad S_{\text{вос}}^2 = 68,131 \quad (3.34)$$

Тогда расчетный критерий Фишера определяется отношением:

$$Fi = \frac{S_o^2}{S_{\text{вос}}^2} \quad (3.35)$$

Расчетное значение критерия Фишера, полученного в результате расчетов на математическом процессоре MathCad [110], составляет $Fi = 0,4036$, что значительно меньше табличного $F_{\text{таб}} = 1,02$ для числа степеней свободы $f_1 = 3$, $f_2 = 4$ и уровня значимости $\alpha = 0,1$.

Выводы по 3 главе

1. Разработана реологическая механическая модель, описывающая поведение гелеобразующей смеси в цилиндрическом канале.
2. Установлено, что уравнение механической модели адекватно описывает эксперимент и пригодно для практической реализации при расчетах значений вязкости гелеобразующей смеси.
3. На основании полученных аналитических выражений процесса течения гелеобразующей смеси разработана инженерная методика расчета рабочих органов оборудования для получения капсул.
4. Разработаны операторная и технологическая схемы установки для получения капсул.

5. Проверена адекватность математической модели на основе изучения сил взаимодействия сырья с силами, воздействующими на жидкость в канале круглого сечения.

4 ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАПСУЛ И РАБОЧИХ ОРГАНОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИНКАПСУЛИРОВАНИЯ

4.1 Влияние температуры на вязкость водного раствора гелеобразующей смеси

Известно, что клетки пробиотиков, помещенные в капсулу, активны за счет непроницаемости оболочки. Капсулирующее вещество, его состав, концентрация, а также, число жизнеспособных клеток пробиотиков, штамм отдельных бактерий является важным при процессе инкапсулирования [29, с. 97; 11, с. 35].

Технологию инкапсулирования можно подразделить на три этапа.

Первый этап.

Включение биологически активных веществ в матрицу вещества (жидкую или твердую). В случае использования жидкого основания/вещества, добавление биологически активных веществ производится в растворенной или диспергированной матрице. В случае использования твердой основы, включение осуществляют методом агломерации или адсорбции [11, с.34; 111].

Второй этап.

Осуществляется дисперсия жидкой матрицы, после чего раствор распыляется на твердую матрицу [11, с.35; 111].

Третий этап.

На данном этапе происходит стабилизация химических (полимеризация), физико-химических (гелизация) или физических (испарение, кристаллизация, коалесценция) процессов.

В нашем случае в качестве основы был выбран водный раствор альгината натрия, в матрице которого производится диспергирование пробиотика [112].

Однако матрица из чистого альгината натрия оказалась пористой, как показано на рисунке 39 (Приложение Д). Поэтому для заполнения пористой структуры в альгинат натрия был добавлен желатин, как показано на рисунке 40. В результате был получен водный раствор гелеобразующей смеси состоящий из смеси альгината натрия и желатина. Для подбора процентного соотношения альгината натрия и желатина были проведены эксперименты, результат которых приведен в графиках, показанных ниже.

Для выявления изменения значений экспериментальных данных, построены графики зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и частоты вращения ротора вискозиметра. Диапазон исследуемых температур был выбран от 20 до 50 °С, так как при температурах ниже 20 °С водный раствор гелеобразующей смеси загустевает и соответственно перестает течь через инжекторы, а при температурах выше 50 °С пробиотики погибают.

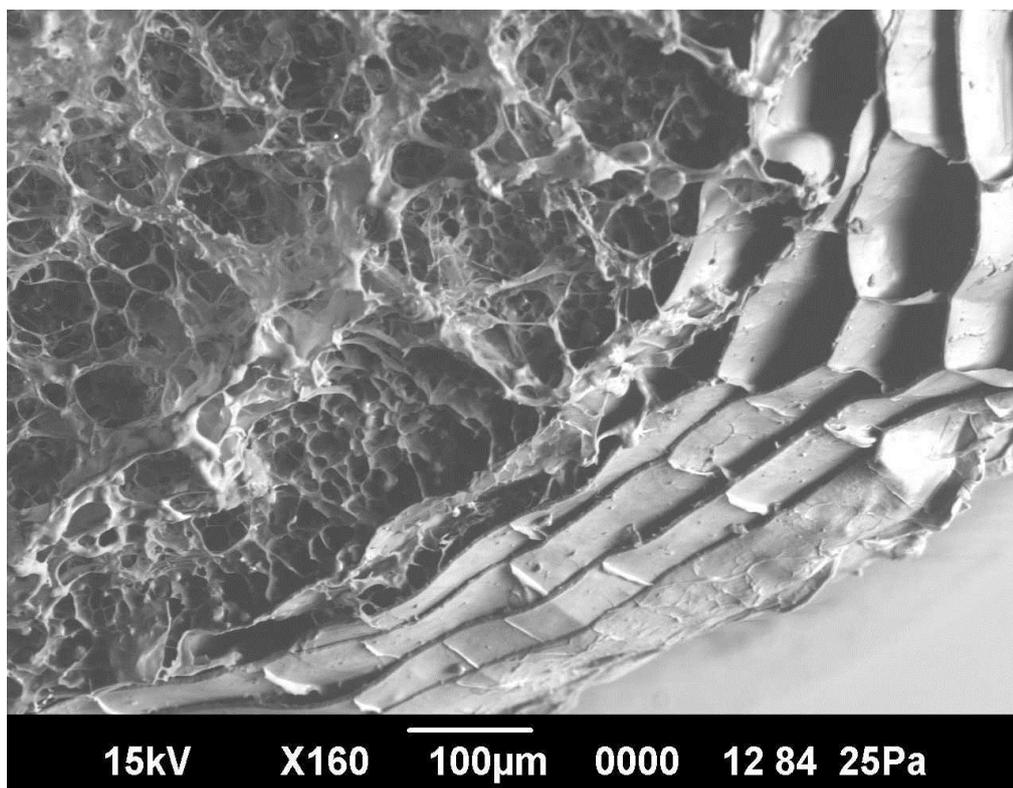


Рисунок 39 – Изображение капсулы, полученной из водного раствора альгината натрия 1% без добавления желатина

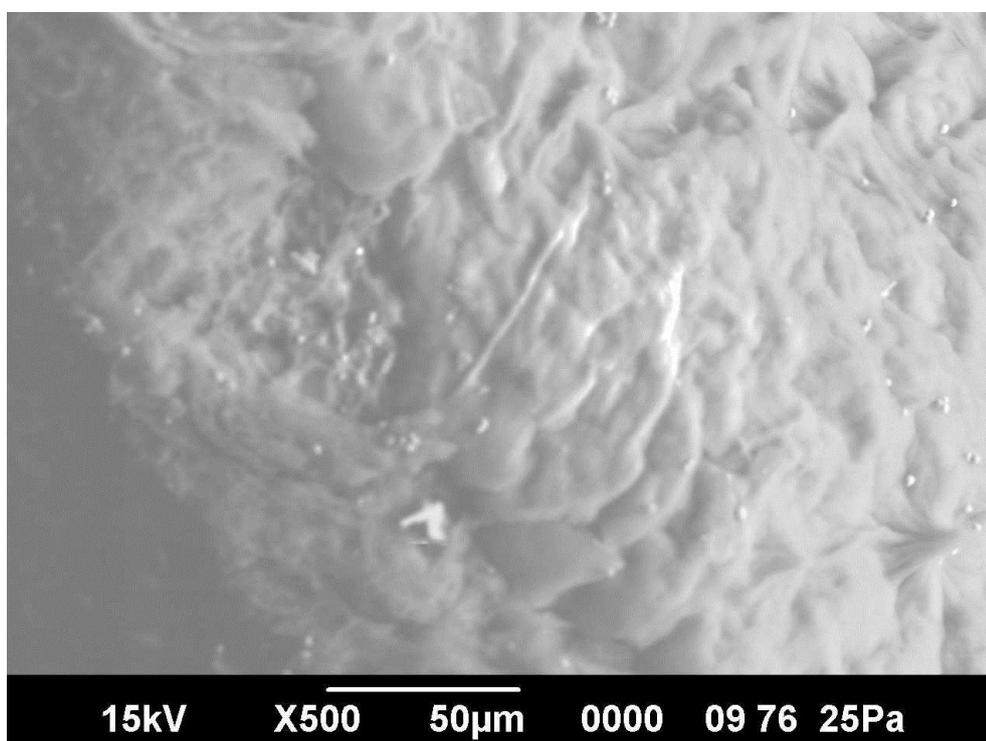


Рисунок 40 – Изображение капсулы, полученной из водного раствора альгината натрия с добавлением желатина

Для выявления изменения значений экспериментальных данных, построены графики зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и частоты вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул [113].

Чтобы подобрать правильное процентное соотношение альгината натрия и желатина, принимаем количество желатина 1%, при этом меняя процентное соотношение альгината натрия (0,5%; 1%; 1,5%) в растворе, как показано на рисунках 41, 42, 43.

Расчет числовых значений, приведенных в таблицах 2, 3, 4 производится по методике, приведенной в соответствии с пунктом 2.4.1 (определение вязкости гелеобразующей смеси).

Таблица 2 – Экспериментальные данные, полученные на вискозиметре при соотношении раствора желатина 1% и раствора альгината натрия 0,5%

Температура гелеобразующей смеси, t °С	Частота вращения ротора, ω , с ⁻¹	Показания шкалы вискозиметра	Табличный коэффициент (фактор F)	Вязкость гелеобразующей смеси, η , Па·с
50	0,067	0,5	500	250
	0,167	0,7	200	140
	0,333	0,9	100	90
	0,833	1,4	40	56
40	0,067	0,6	500	300
	0,167	1	200	200
	0,333	1,2	100	120
	0,833	2	40	80
30	0,067	0,9	500	450
	0,167	1,6	200	320
	0,333	2,1	100	210
	0,833	3,7	40	148
20	0,067	1,3	500	650
	0,167	2,5	200	500
	0,333	3,3	100	330
	0,833	6,3	40	252

В таблице 2 показаны данные зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и различных частот вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора желатина 1% и раствора альгината натрия 0,5%.

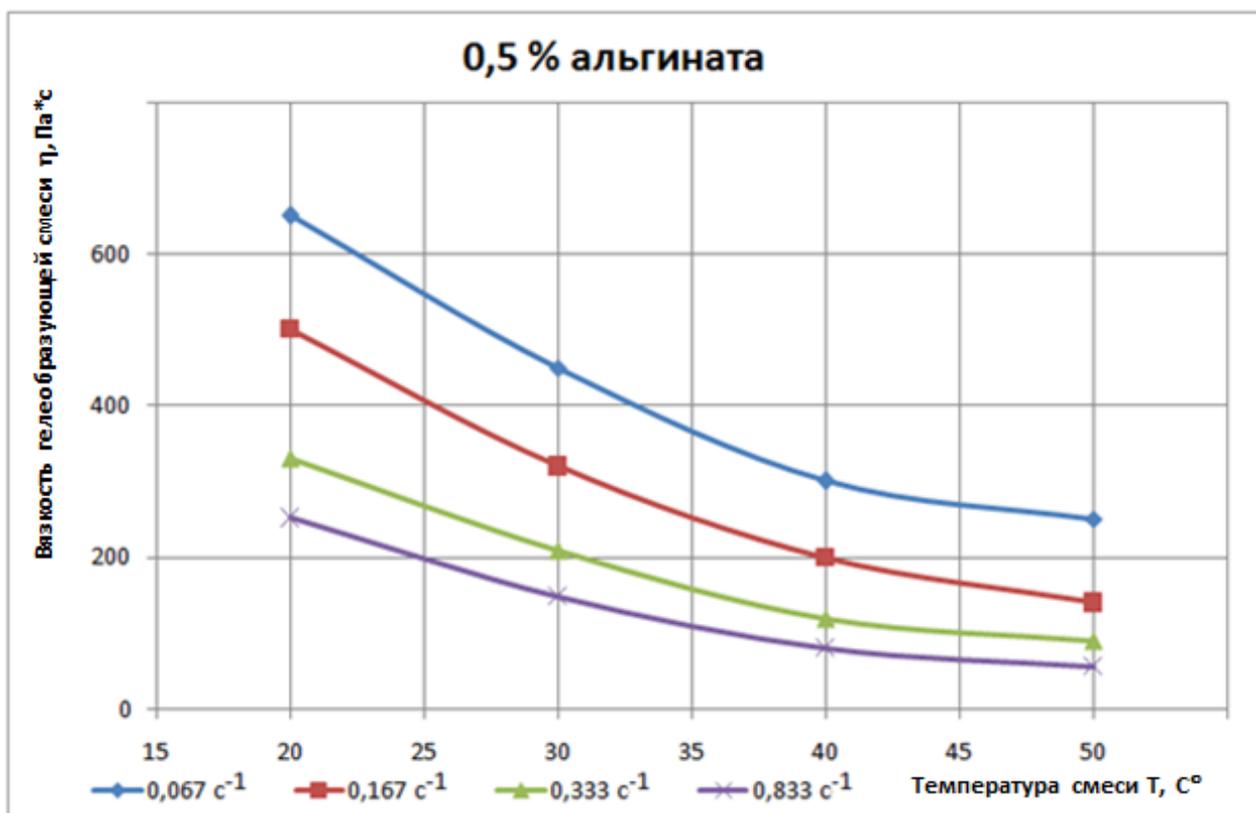


Рисунок 41 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при разных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора желатина 1% и раствора альгината натрия 0,5 %

Из графика зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора желатина 1% и раствора альгината натрия 0,5%, видно, что с понижением температуры вязкость сильно повышается, при этом, чем выше частота вращения, тем ниже вязкость гелеобразующей смеси. Но при температурах 40 и 50 °С величина вязкости изменяется незначительно.

Таблица 3 – Экспериментальные данные, полученные на вискозиметре при соотношении раствора желатина 1% и раствора альгината натрия 1%

Температура гелеобразующей смеси, t, °С	Частота вращения ротора, ω , с ⁻¹	Показания шкалы вискозиметра	Табличный коэффициент (фактор F)	Вязкость гелеобразующей смеси, η , Па·с
50	0,067	0,8	500	400
	0,167	1,5	200	300
	0,333	2,3	100	230
	0,833	4,1	40	164
40	0,067	1	500	500
	0,167	1,9	200	380
	0,333	2,8	100	280
	0,833	4,8	40	192
30	0,067	1,3	500	650
	0,167	2,4	200	480
	0,333	3,7	100	370
	0,833	6,5	40	260
20	0,067	1,7	500	850
	0,167	3,2	200	640
	0,333	5,1	100	510
	0,833	8,8	40	352

В таблице 3 показаны данные зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора желатина 1% и раствора альгината натрия 1%.

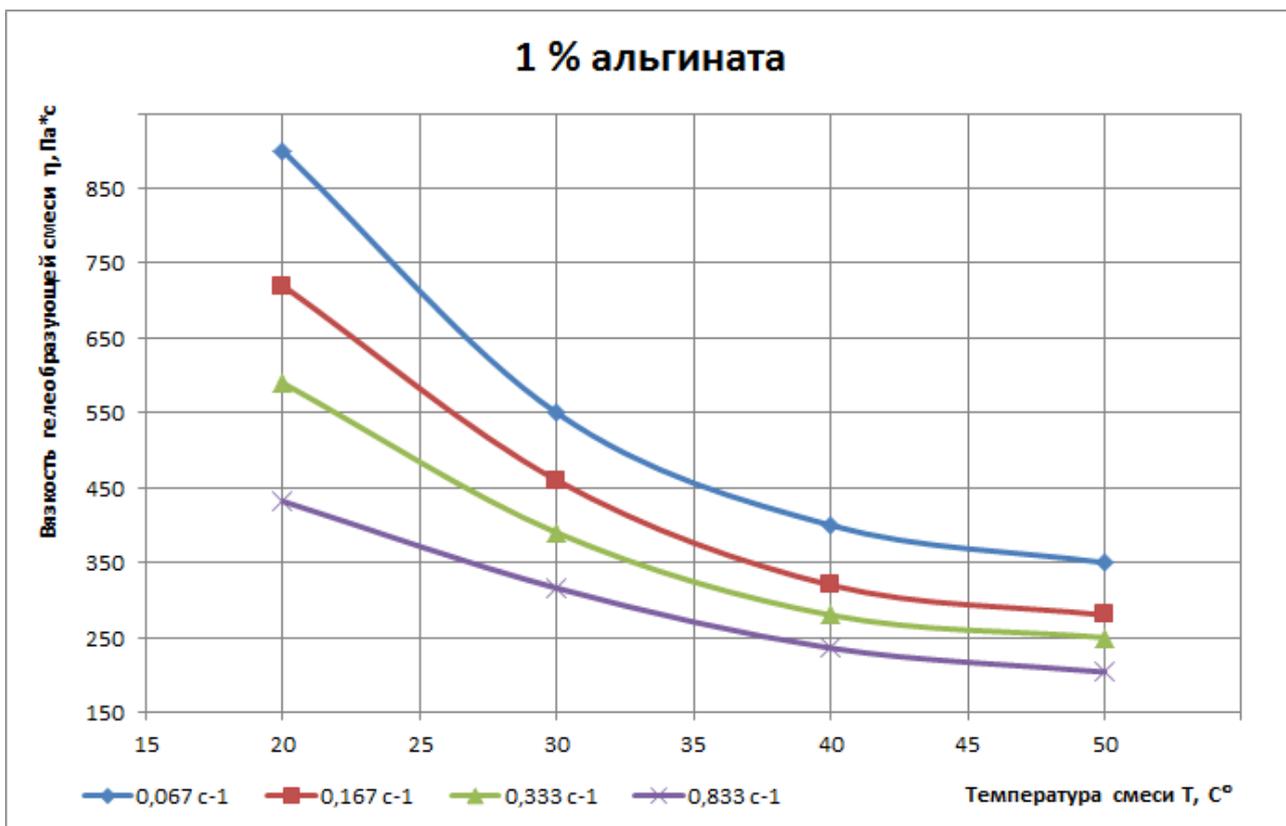


Рисунок 42 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора желатина 1% и раствора альгината натрия 1%

Из графика зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора желатина 1% и раствора альгината натрия 1%, видно, что с понижением температуры вязкость сильно повышается, при этом, чем выше частота вращения, тем ниже вязкость гелеобразующей смеси. Но при температурах 40 и 50 °С величина вязкости изменяется незначительно, что может говорить о том, что температура 40°С более предпочтительна, так как при температурах выше 50°С пробиотики гибнут.

Таблица 4 – Экспериментальные данные, полученные на вискозиметре при соотношении раствора желатина 1% и раствора альгината натрия 1,5 %

Температура гелеобразующей смеси, t, °С	Частота вращения ротора, ω , с ⁻¹	Показания шкалы вискозиметра	Табличный коэффициент (фактор F)	Вязкость гелеобразующей смеси, η , Па·с
50	0,067	1,1	500	550
	0,167	2,2	200	440
	0,333	3,5	100	350
	0,833	6,1	40	244
40	0,067	1,3	500	650
	0,167	2,7	200	540
	0,333	4,3	100	430
	0,833	7,2	40	288
30	0,067	1,8	500	900
	0,167	3,6	200	720
	0,333	5,5	100	550
	0,833	9,2	40	368
20	0,067	2,5	500	1250
	0,167	4,8	200	960
	0,333	7,2	100	720
	0,833	11,9	40	476

В таблице 4 показаны данные зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора желатина 1% и раствора альгината натрия 1,5 %.

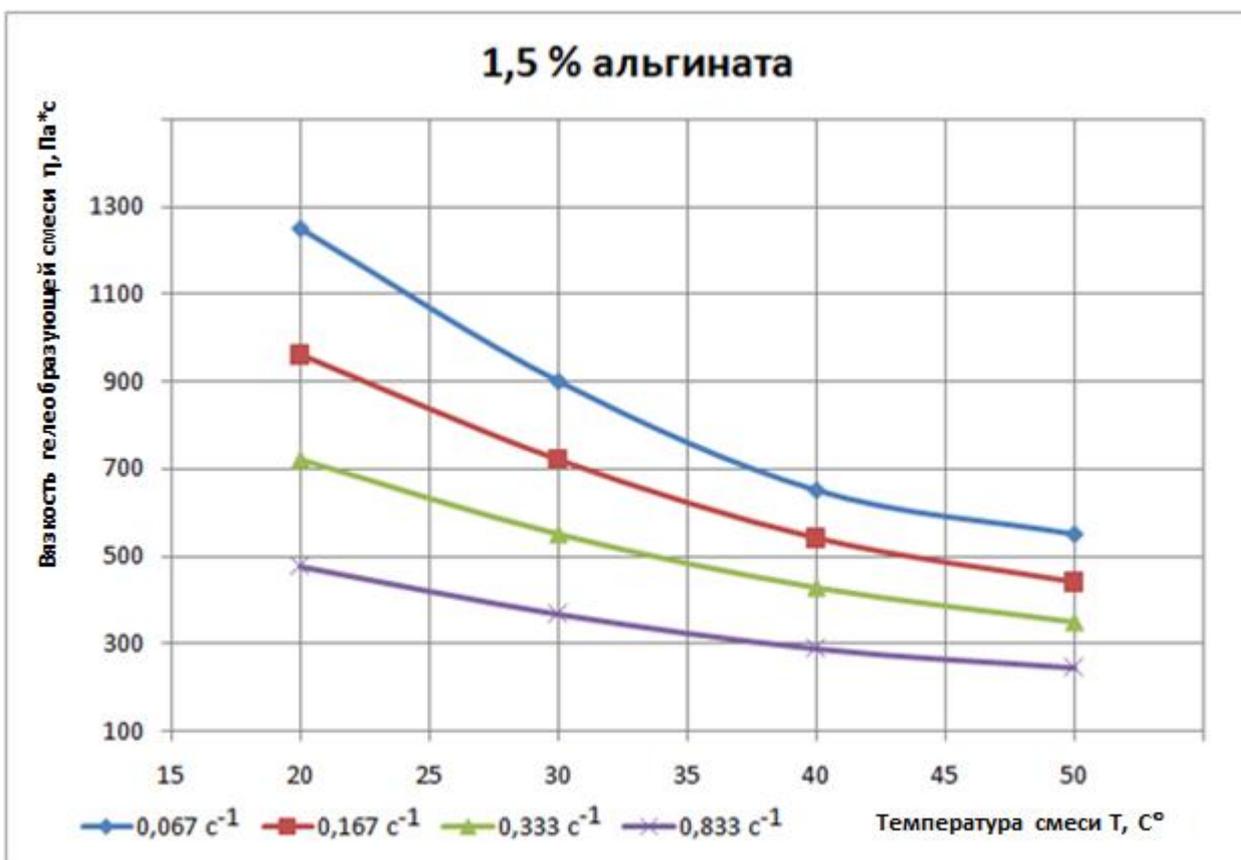


Рисунок 43 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора желатина 1% и раствора альгината натрия 1,5%

Из графика зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора желатина 1 % и раствора альгината натрия 1,5 %, видно, что с понижением температуры вязкость сильно повышается, при этом, чем выше частота вращения, тем ниже вязкость. Учитывая то, что и в предыдущих графиках при температурах 40 и 50 °С величина вязкости изменяется незначительно, то температуры выше 40°С являются наиболее благоприятными.

Чтобы подобрать правильное процентное соотношение альгината натрия и желатина, принимаем количество альгината натрия 1%, при этом меняя процентное соотношение желатина в растворе, как показано на рисунках 44, 45, 46, 47.

Расчет числовых значений, приведенных в таблицах 5, 6, 7, 8 производится по методике, приведенной в соответствии с пунктом 2.4.1 (определение вязкости гелеобразующей смеси).

Таблица 5 – Экспериментальные данные, полученные на вискозиметре капсул при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 0,5 %

Температура гелеобразующей смеси, t °С	Частота вращения ротора, ω , с ⁻¹	Показания шкалы вискозиметра	Табличный коэффициент (фактор F)	Вязкость гелеобразующей смеси, η , Па·с
50	0,067	0,7	500	280
	0,167	1,4	200	240
	0,333	2,5	100	198
	0,833	5,1	40	135
40	0,067	0,8	500	350
	0,167	1,6	200	270
	0,333	2,8	100	210
	0,833	5,9	40	145
30	0,067	1,1	500	510
	0,167	2,3	200	375
	0,333	3,9	100	265
	0,833	7,9	40	175
20	0,067	1,8	500	815
	0,167	3,6	200	630
	0,333	5,9	100	445
	0,833	10,8	40	280

В таблице 5 показаны данные зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 0,5 %.

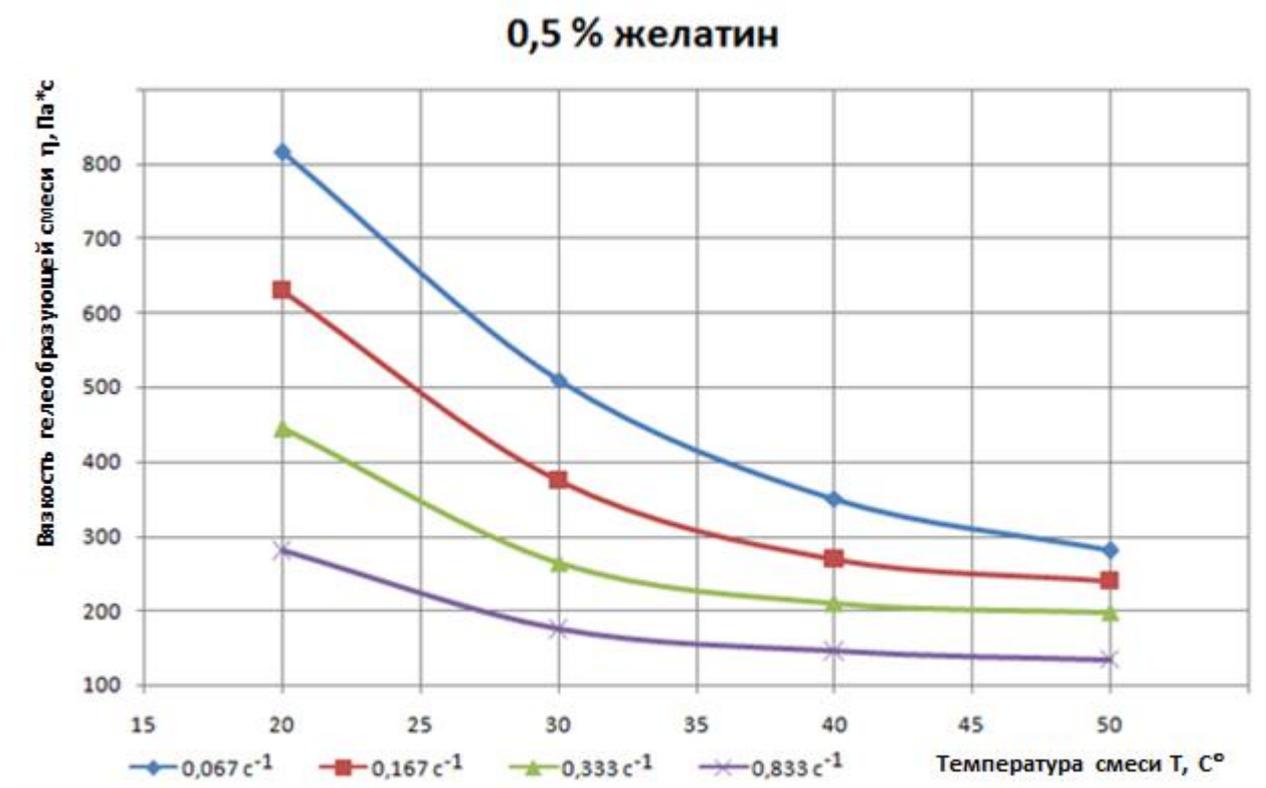


Рисунок 44 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 0,5 %

Сравнивая график зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора альгината натрия 1 % и раствора желатина 0,5 % и при соотношении раствора желатина 1 % и раствора альгината натрия 0,5 % (Рисунок 41), видно, что при температурах 40 и 50 °С на обоих графиках величины вязкости примерно близки по величине. Однако при температурах ниже 40 °С на графике, показанном в соответствии с рисунком 44, величины вязкости начинают резко возрастать, что говорит о том, что количество альгината натрия сильнее влияет на вязкость жидкости в сторону увеличения.

Таблица 6 – Экспериментальные данные, полученные на вискозиметре при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 2%

Температура гелеобразующей смеси, t °С	Частота вращения ротора, ω , с ⁻¹	Показания шкалы вискозиметра	Табличный коэффициент (фактор F)	Вязкость гелеобразующей смеси, η , Па·с
50	0,067	0,8	500	400
	0,167	1,5	200	300
	0,333	2,7	100	270
	0,833	5,5	40	220
40	0,067	0,9	500	450
	0,167	1,8	200	360
	0,333	3	100	300
	0,833	6,2	40	248
30	0,067	1,3	500	650
	0,167	2,6	200	520
	0,333	4,3	100	430
	0,833	8,4	40	336
20	0,067	2,1	500	1050
	0,167	4,1	200	820
	0,333	6,4	100	640
	0,833	11,2	40	448

В таблице 6 показаны данные зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 2%.

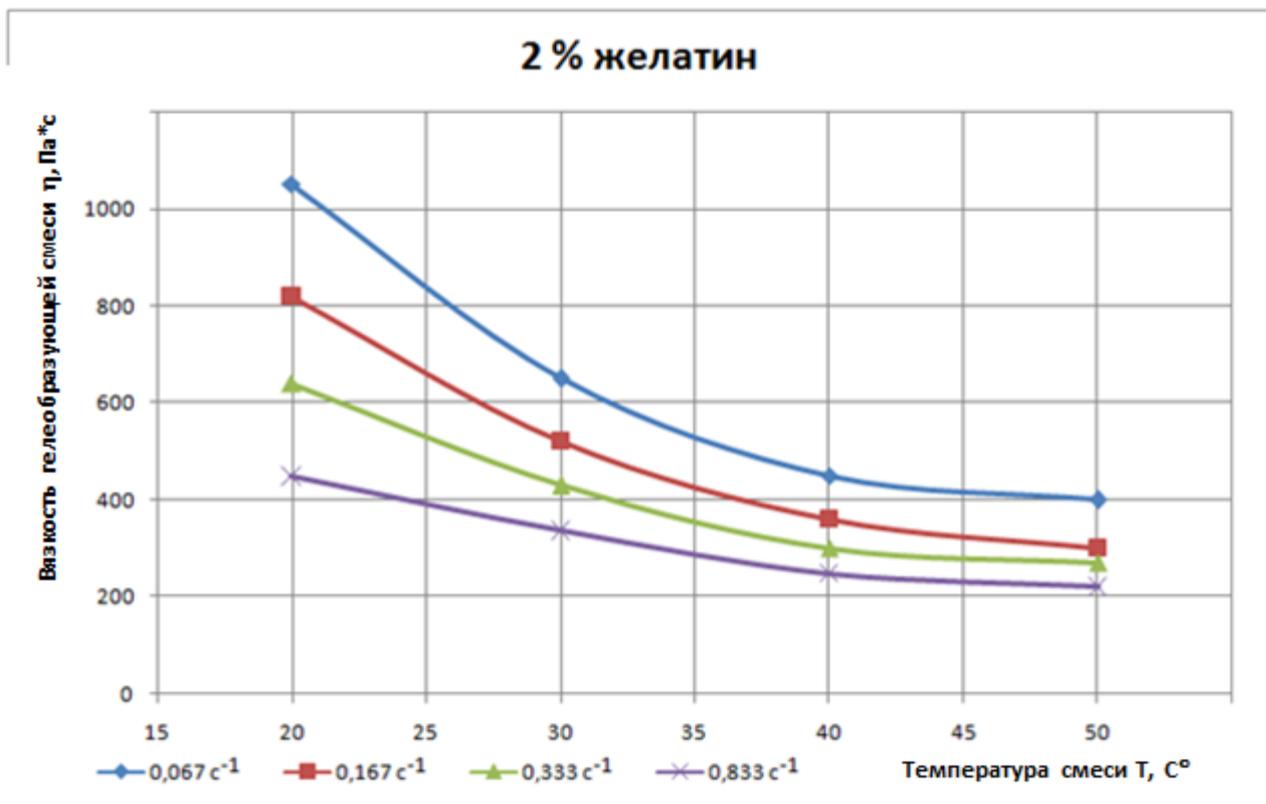


Рисунок 45 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 2%

Сравнивая график зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора альгината натрия 1 % и раствора желатина 2 % и при соотношении раствора желатина 1 % и раствора альгината натрия 1,5 % (Рисунок 43), видно, что при температурах 40 и 50 °С на графике величины вязкости раствора несколько выше, чем на графике, показанном на рисунке 45. А при температурах ниже 40°С на графике, показанном на рисунке 43 величины вязкости выше при одинаковых температурах и частотах вращения ротора, не смотря на то, что процентное соотношение альгината натрия на 0,5% меньше чем желатина. Это говорит о том, что количество альгината натрия сильнее влияет на вязкость жидкости в сторону увеличения.

Таблица 7 – Экспериментальные данные, полученные на вискозиметре при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 3%

Температура раствора, t, °С	Частота вращения ротора, ω , с ⁻¹	Показания шкалы вискозиметра	Табличный коэффициент (фактор F)	Вязкость гелеобразующей смеси, η , Па·с
50	0,067	0,9	500	450
	0,167	1,8	200	360
	0,333	3	100	300
	0,833	6,5	40	260
40	0,067	1,1	500	550
	0,167	2,2	200	440
	0,333	3,6	100	360
	0,833	7,1	40	284
30	0,067	1,5	500	750
	0,167	2,8	200	560
	0,333	4,6	100	460
	0,833	8,8	40	352
20	0,067	2,4	500	1200
	0,167	4,5	200	900
	0,333	6,8	100	680
	0,833	11,9	40	476

В таблице 7 показаны данные зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 3%.

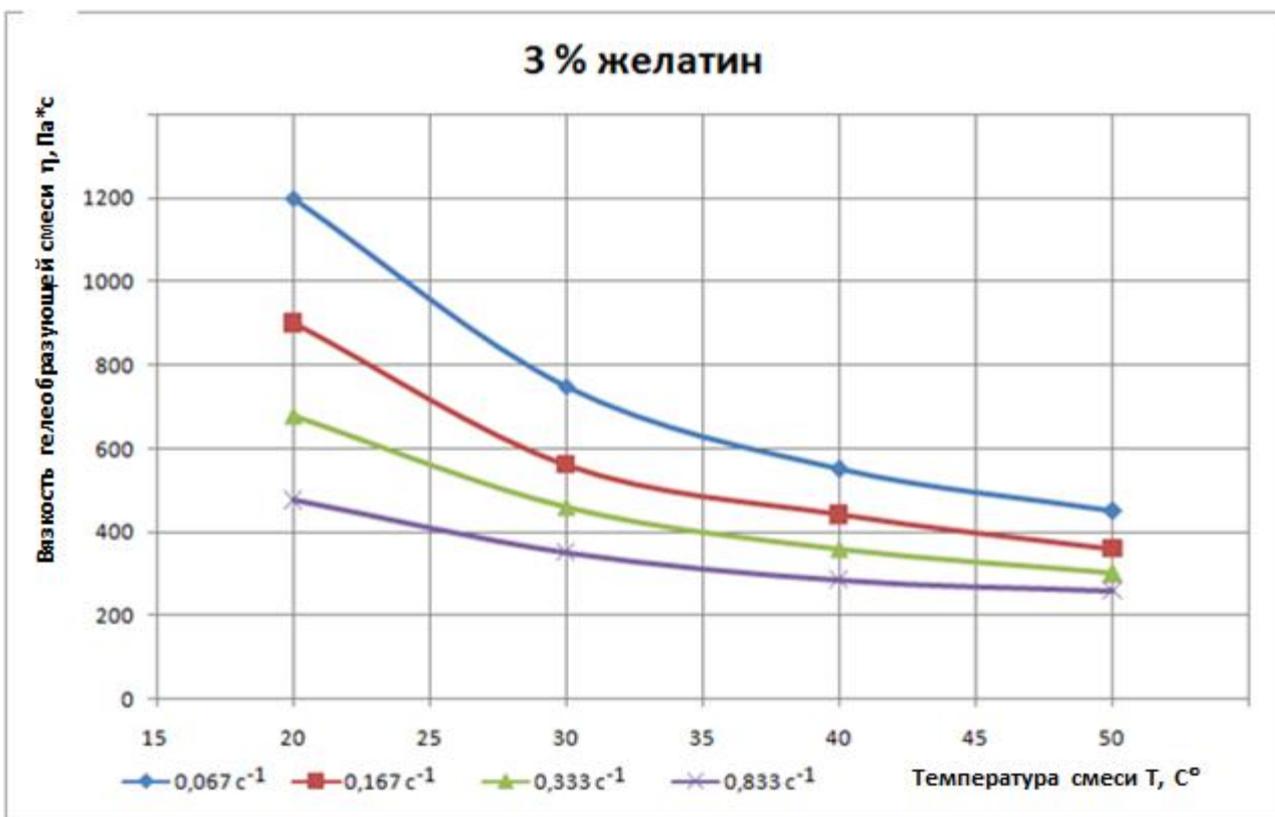


Рисунок 46 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 3%

Сравнивая график зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора альгината натрия 1 % и раствора желатина 3 % и при соотношении раствора желатина 1 % и раствора альгината натрия 1,5 % (Рисунок 43), видно, что при температурах 40 и 50 °C величины вязкости раствора количественно близки. А также при температурах ниже 40 °C на обоих графиках величины вязкости приблизительно равны при одинаковых температурах и частотах вращения ротора несмотря на то, что процентное соотношение альгината натрия в 2 раза меньше, чем желатина. Это говорит о том, что количество альгината натрия сильнее влияет на вязкость жидкости в сторону увеличения.

Таблица 8 – Экспериментальные данные, полученные на вискозиметре при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 4%

Температура раствора, t, °C	Частота вращения ротора, ω , с ⁻¹	Показания шкалы вискозиметра	Табличный коэффициент (фактор F)	Вязкость гелеобразующей смеси, η , Па·с
50	0,067	1,6	500	800
	0,167	2,9	200	580
	0,333	4	100	400
	0,833	8,1	40	324
40	0,067	2	500	1000
	0,167	3,6	200	720
	0,333	4,3	100	430
	0,833	8,3	40	332
30	0,067	2,5	500	1250
	0,167	4,3	200	860
	0,333	5,2	100	520
	0,833	9,1	40	364
20	0,067	3,4	500	1700
	0,167	6,1	200	1220
	0,333	7,2	100	720
	0,833	12,1	40	484

В таблице 8 показаны данные зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 4%.

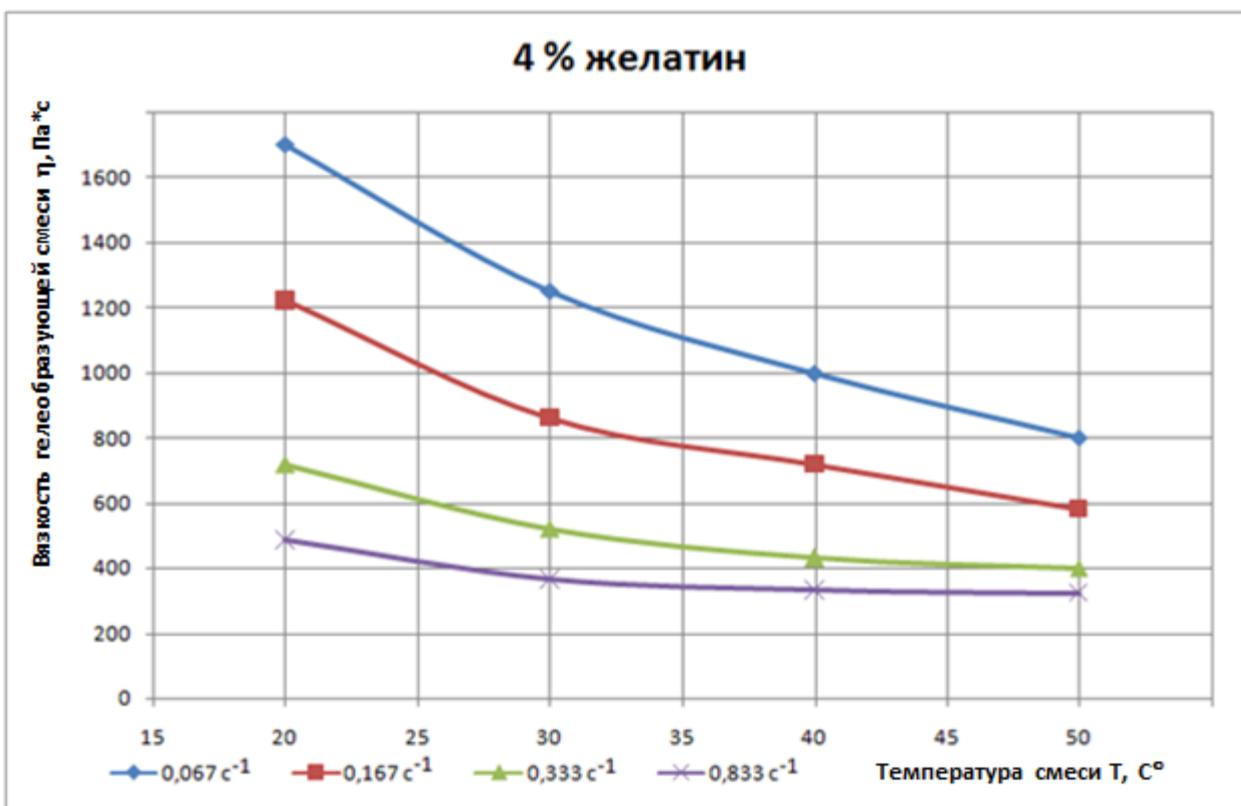


Рисунок 47 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра на экспериментальной установке для получения капсул при соотношении раствора альгината натрия 1% и раствора желатина 4%

Проводя анализ графиков зависимостей вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения ротора вискозиметра, выявлено, что с понижением температуры вязкость сильно повышается. Это объясняется тем, что с понижением температуры меняется структура гелеобразователя и соответственно растет вязкость жидкости. Из графиков видно, что при температурах 40 и 50 С° величина вязкости изменяется незначительно для всех скоростей вращения ротора, однако температуры выше 50 С° применять не желательно во избежание гибели пробиотических микроорганизмов. Исходя из всего этого, наиболее подходящей температурой эксплуатации раствора, является температура 40 С°.

4.2 Влияние процентного соотношения водного раствора гелеобразующей смеси на формы и размеры капсул

Для подбора правильной рецептуры формообразующей жидкости, представлены фотографии показывающие зависимости формы и размеров капсул от процентного соотношения гелеобразующей смеси.

В первом случае, взяли 0,5 % альгинат натрия и 1 % желатин в соответствии с рисунком 48.

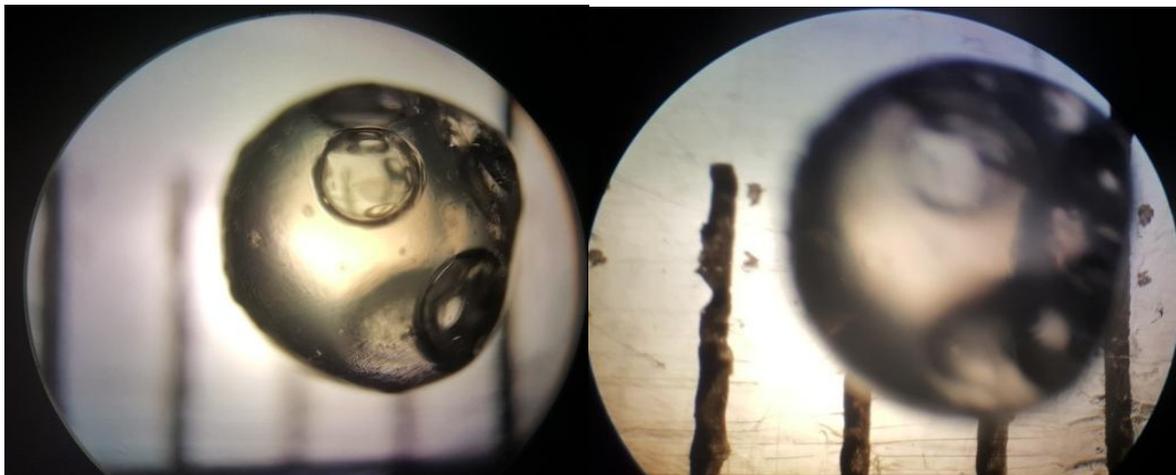


Рисунок 48 - Капсулы, содержащие 0,5% альгинат натрия, 1% желатин

Полученные капсулы имеют неправильную форму и неоднородную структуру, мягкую консистенцию, легко разрушаются при физическом воздействии. Размер капсул в пределах $(2 \div 2,5) \cdot 10^{-3}$ м.

Во втором случае, взяли 1 % альгинат натрия и 1 % желатин в соответствии с рисунком 49.

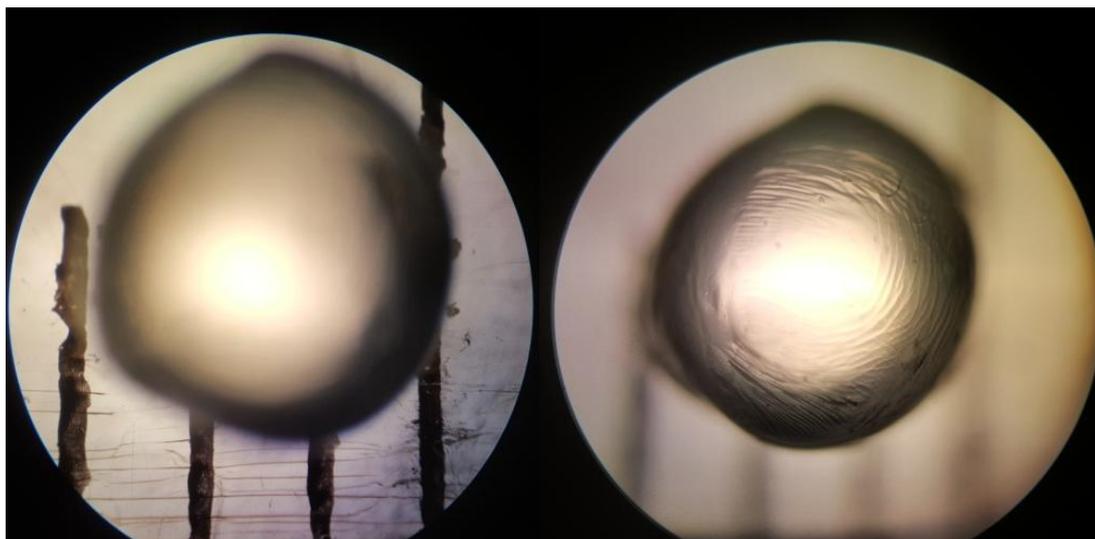


Рисунок 49 - Капсулы, содержащие 1% альгинат натрия, 1% желатин

Полученные капсулы имеют округлую форму и однородную структуру, мягкие на ощупь, но устойчивые при физическом воздействии и имеют размер $(2,7 \div 3) \cdot 10^{-3}$ м.

В третьем случае, взяли 1,5 % альгинат натрия и 1 % желатин в соответствии с рисунком 50.

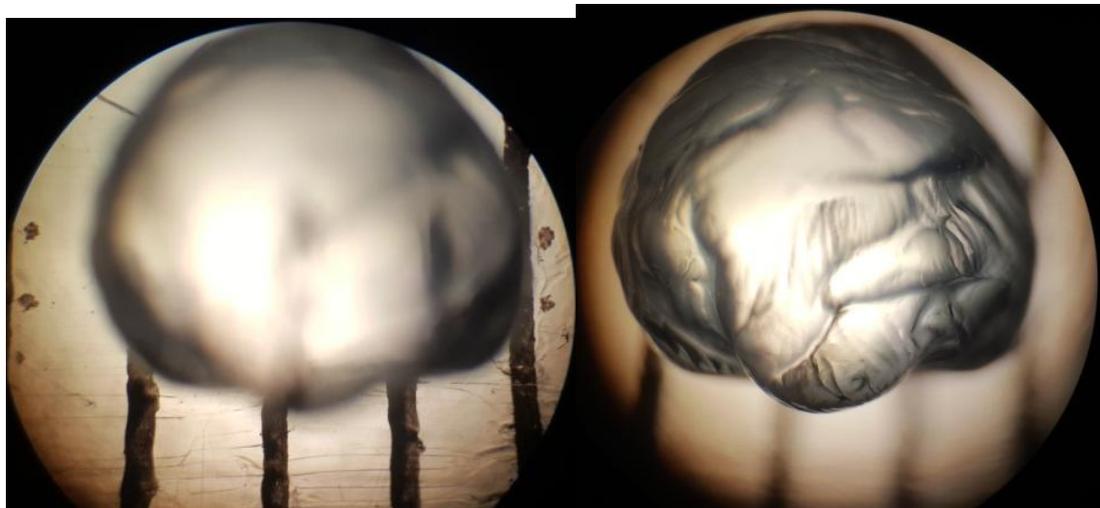


Рисунок 50 - Капсулы, содержащие 1,5% альгинат натрия, 1% желатин

Капсулы получились твердыми на ощупь, с прочной многослойной оболочкой, имеют неправильную форму и неоднородную структуру. Размер $(3 \div 3,4) \cdot 10^{-3}$ м [114, 115].

В четвертом случае, взяли 1 % альгинат натрия и 0,5 % желатин в соответствии с рисунком 51.

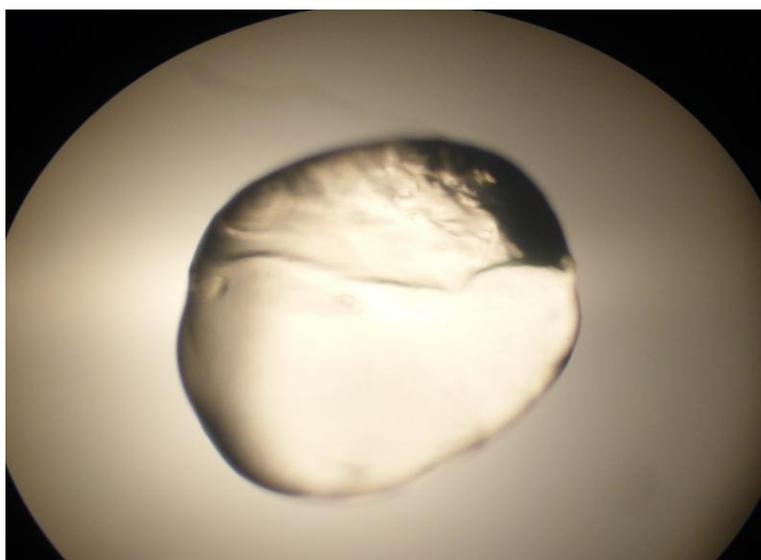


Рисунок 51 - Капсулы, содержащие 0,5 % желатин, 1% альгинат натрия

Полученные капсулы имеют неправильную форму и однородную структуру, мягкую консистенцию, легко разрушаются при физическом воздействии. Размер капсул в пределах $(2,5 \div 3) \cdot 10^{-3}$ м.

В пятом случае, взяли 1 % альгинат натрия и 2 % желатин в соответствии с рисунком 52.



Рисунок 52 - Капсулы, содержащие 2 % желатин, 1% альгинат натрия

Капсулы получились упругими на ощупь, имеют форму, близкую к округлой и однородной структуре, устойчивы к физическому воздействию. Размер $(2,5 \div 3) \cdot 10^{-3}$ м.

В шестом случае, взяли 1 % альгинат натрия и 3 % желатин в соответствии с рисунком 53.

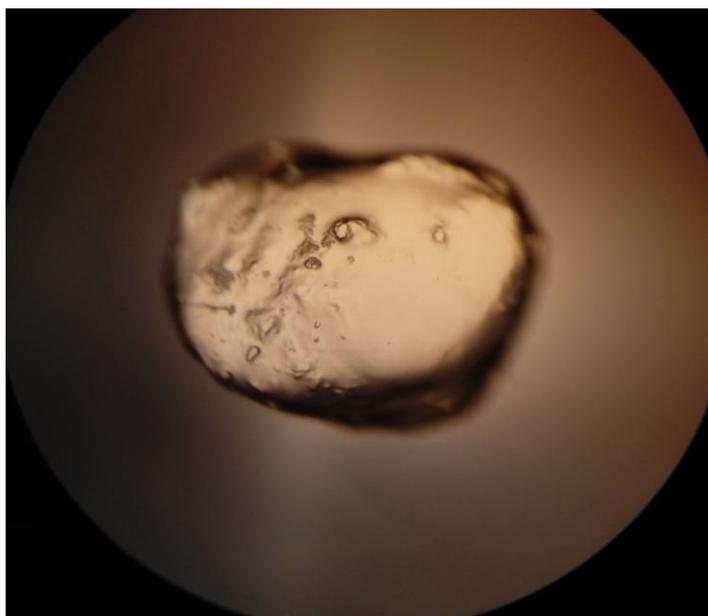


Рисунок 53 - Капсулы, содержащие 3% желатин, 1% альгинат натрия

Полученные капсулы упругие на ощупь, имеют неправильную форму и неоднородную структуру, устойчивы к физическому воздействию. Размер капсул в пределах $(2,5 \div 3) \cdot 10^{-3}$ м.

В седьмом случае, взяли 1 % альгинат натрия и 4 % желатин в соответствии с рисунком 54.

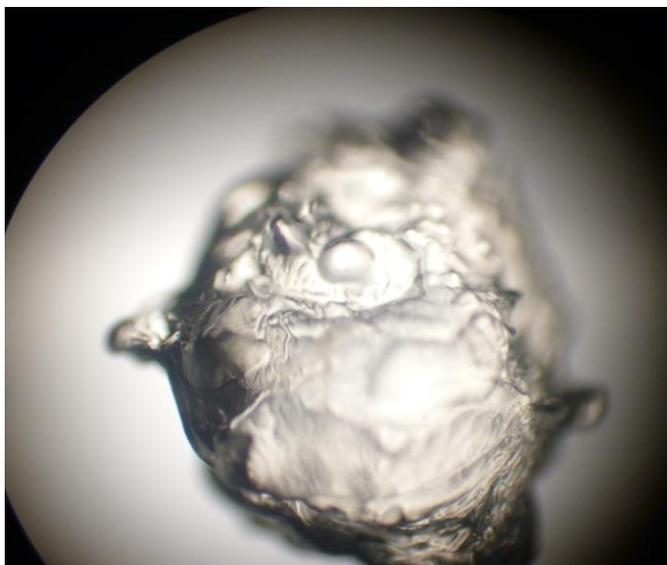


Рисунок 54 - Капсулы, содержащие 4% желатин, 1% альгинат натрия

Полученные капсулы твердые на ощупь, имеют неправильную форму и неоднородную структуру, с трудом разрушаются при физическом воздействии. Размер капсул в пределах $(2,5 \div 3) \cdot 10^{-3}$ м.

Проводя анализ капсул, можно сделать вывод: что наиболее оптимальным вариантом является состав капсул, содержащих 1% альгинат натрия и 1% желатин. Капсулы, изготовленные из этого состава, имеют красивую округлую форму, одинаковый размер, мягкую консистенцию, но устойчивую для физического воздействия.

4.3 Влияние внутреннего диаметра инжектора на диаметр капсул

Для выявления зависимости размеров капсул от внутреннего диаметра инжекторов, построен график, показанный на рисунке 55.

Для подбора оптимального внутреннего диаметра инжекторов фильеры установки были взяты 7 (семь) образцов инжекторов. Внутренний диаметр инжекторов, следующий: 1 образец – $0,82 \cdot 10^{-3}$ м; 2 образец – $0,3 \cdot 10^{-3}$ м; 3 образец – $0,16 \cdot 10^{-3}$ м; 4 образец – $0,4 \cdot 10^{-3}$ м; 5 образец – $0,43 \cdot 10^{-3}$ м; 6 образец – $0,49 \cdot 10^{-3}$ м; 7 образец – $0,65 \cdot 10^{-3}$ м (Приложение Г).

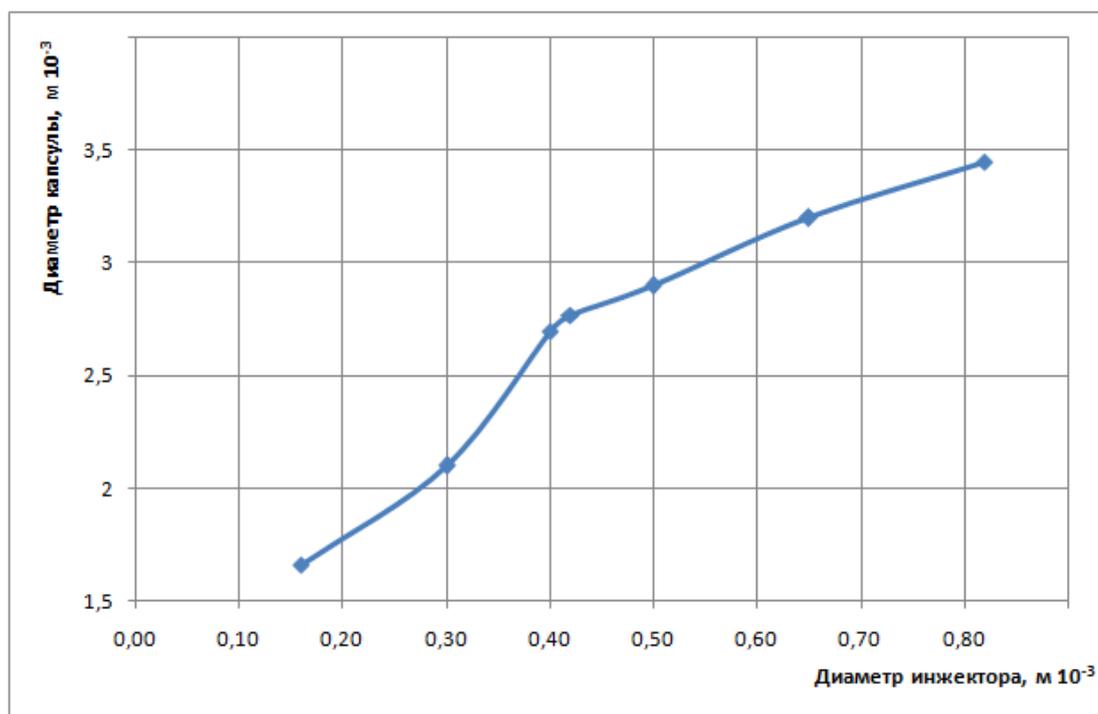


Рисунок 55 – Зависимость диаметра капсул от внутреннего диаметра инжекторов на экспериментальной установке для получения капсул

На графике показано влияние внутреннего диаметра инжектора на размеры капсул, при этом при проведении экспериментов иглы с 1 по 5 показали себя не с лучшей стороны, т.к. часто забивались, изза чего производительность установки начинала падать. В результате для дальнейших экспериментов мы использовали инжектор с внутренним диаметром $0,65 \cdot 10^{-3}$ м, как имеющего минимальный диаметр при наилучшей проходной способности (Приложение Г).

4.4 Влияние частоты оборотов перистальтического насоса и вязкости гелеобразующей смеси на производительность установки

Для выявления зависимости характеристик установки от частоты вращения насоса, построены графики зависимости производительности установки от вязкости гелеобразующей смеси, температуры раствора и частоты вращения перистальтического насоса на рисунках 56, 57 [113, с. 74-75].

Числовые данные приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Данные зависимости влияния частоты вращения насоса и вязкости гелеобразующей смеси на производительность установки

Температура гелеобразующей смеси, t, °С	Частота вращения перистальтического насоса, ω , с ⁻¹	Вязкость гелеобразующей смеси, η , Па·с	Количество капсул
50	0,333	480	197
	0,667	420	486
	1	380	672
	1,333	350	820
40	0,333	900	128
	0,667	740	368
	1	590	560
	1,333	472	732
30	0,333	2250	104
	0,667	1680	306
	1	1310	484
	1,333	1028	596
20	0,333	4750	66
	0,667	3800	260
	1	3250	404
	1,333	2900	500

В таблице 9 показаны данные зависимости влияния частоты вращения перистальтического насоса и вязкости гелеобразующей смеси на производительность установки для инкапсулирования пробиотиков.

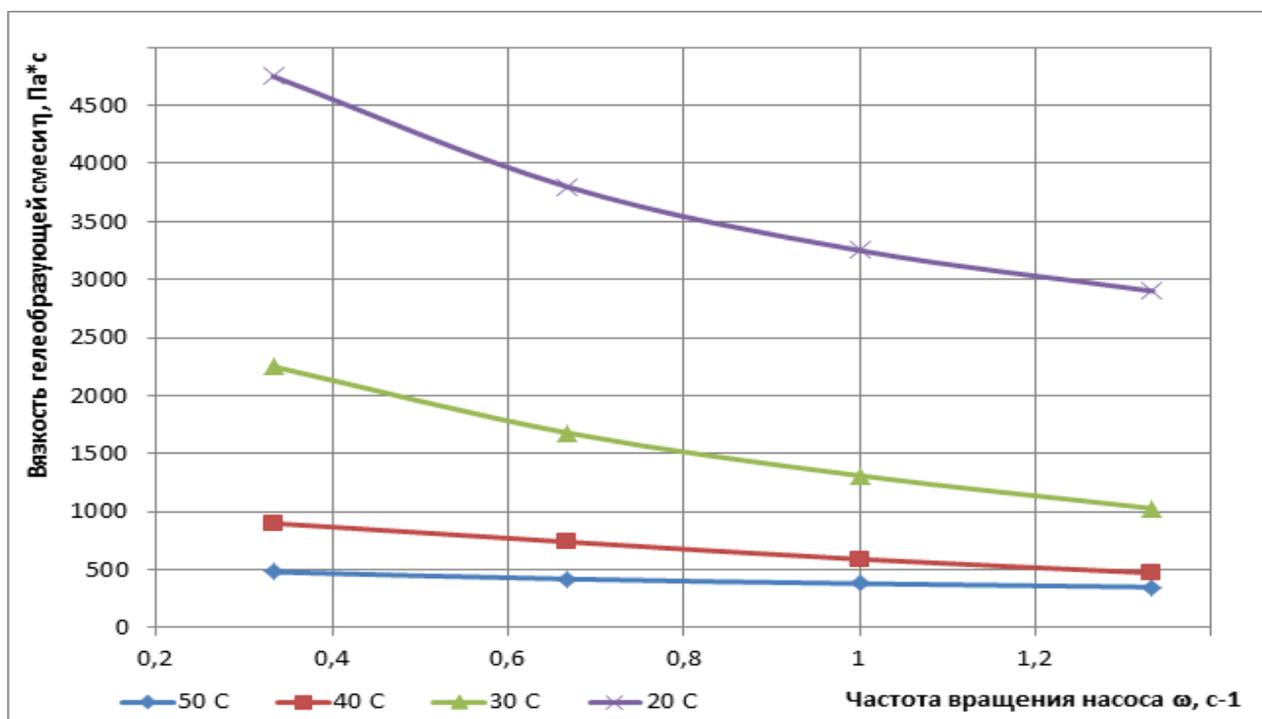


Рисунок 56 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при различных частотах вращения перистальтического насоса на экспериментальной установке для получения капсул

Из графика зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и частоты вращения перистальтического насоса на экспериментальной установке для получения капсул, видно, что с повышением температуры гелеобразующей смеси вязкость резко снижается, при этом при температурах 40 и 50 °С вязкости изменяется незначительно, учитывая это можно принять температуру 40°С как наиболее благоприятную.

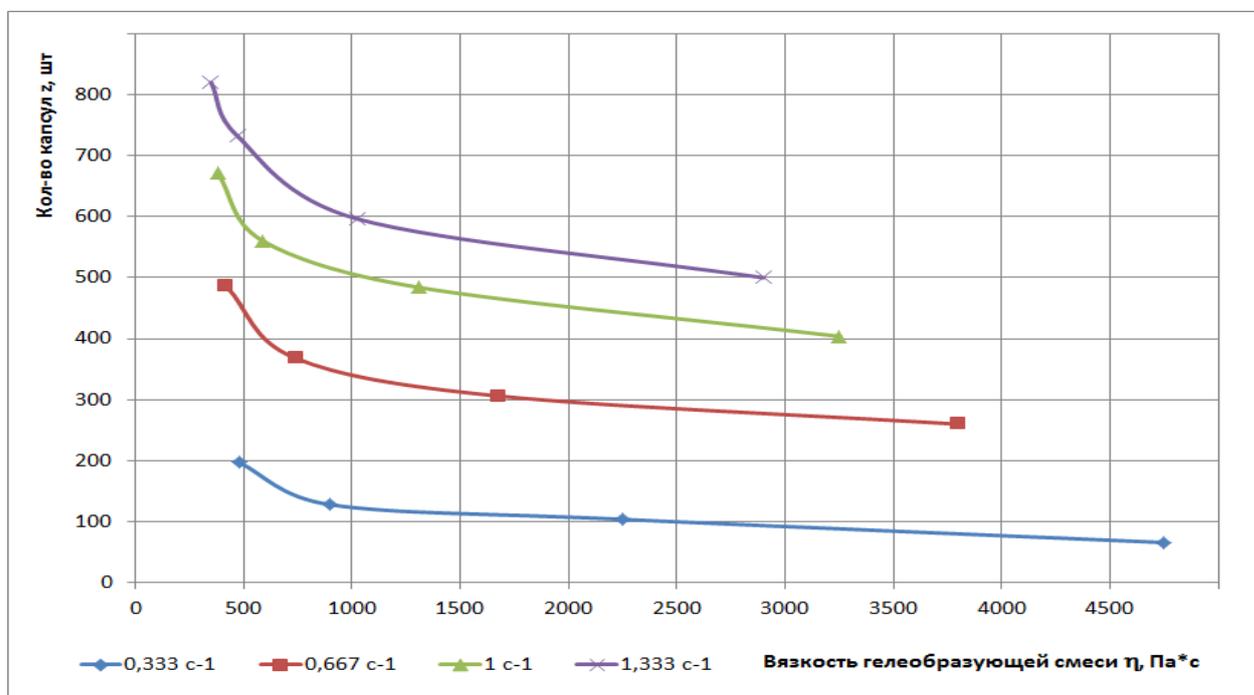


Рисунок 57 – Зависимость количества получаемых капсул от вязкости гелеобразующей смеси при различных частотах вращения перистальтического насоса на экспериментальной установке для получения капсул

Из графика зависимости количества получаемых капсул от вязкости гелеобразующей смеси при различных частотах вращения перистальтического насоса на экспериментальной установке для инкапсулирования, видно, что с уменьшением вязкости гелеобразующей смеси, количество получаемых капсул резко возрастает. Это можно объяснить тем, что при понижении вязкости, возрастает тягучесть гелеобразующей смеси и соответственно объем проходящей жидкости через сечение инжектора за единицу времени.

4.5 Определение прочности капсул

Определение упругопластической деформации капсул проводилось на экспериментальной установке, полученные данные заносились в таблицу. На основании полученных данных был построен график в соответствии с рисунком 58 [73, р.1859-1860]. Расчет модуля упругопластической деформации капсул, приведенного в таблице 10, производился по методике, приведенной в соответствии с пунктом 2.4.3 (определение модуля упругопластической деформации капсул).

Таблица 10 – Данные зависимости модуля упругопластической деформации капсул от температуры гелеобразующей смеси

Укорочение в направлении действия усилия ,f, м	Сжимающая нагрузка, P, Н	Площадь нагружения, S, м ²	Модуль упругопластической деформации, E, кПа
1	0,140283	0,000007065	59,56815
1,5	0,140283	6,5564E-06	41,22364
2	0,140283	6,5111E-06	31,02508
2,2	0,140283	6,02323E-06	29,32466

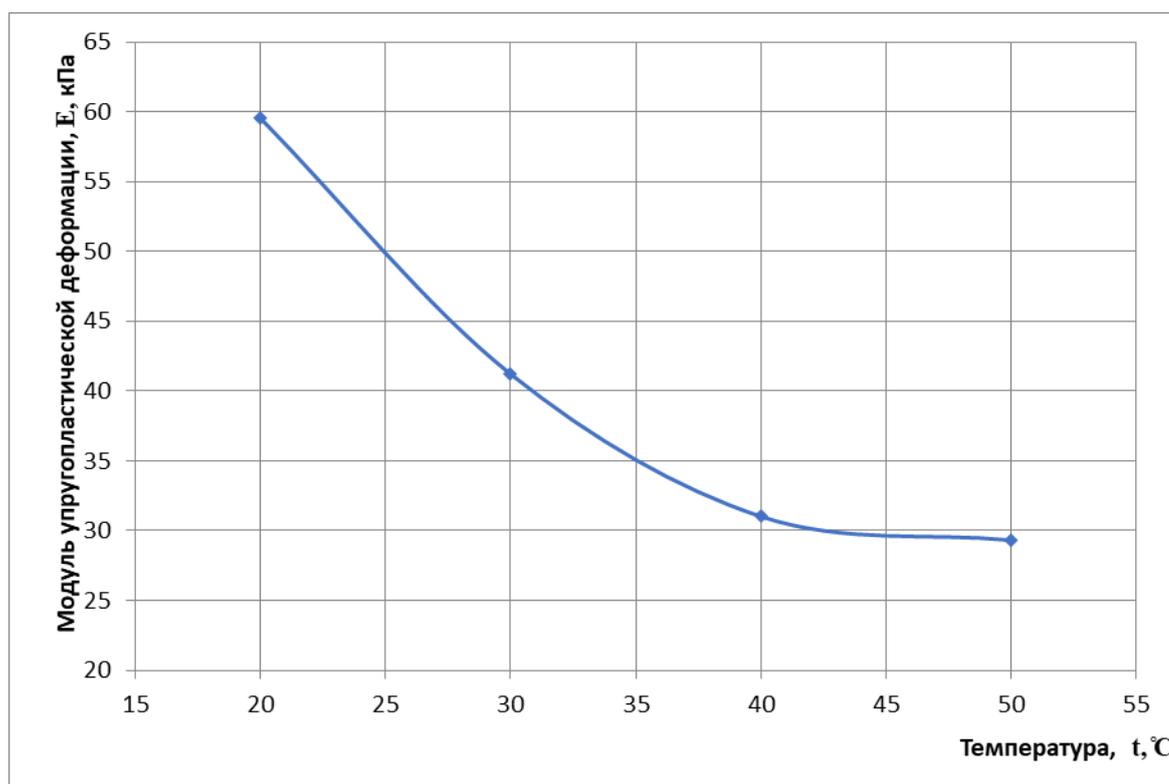


Рисунок 58 - Зависимость модуля упругопластической деформации капсул в зависимости от температуры гелеобразующей смеси

Из графика видно, что упругость капсул полученных при температурах 20 и 30 град. выше, чем при температурах 40 и 50 град. Т.е. если говорить об органолептическом анализе, то капсулы полученные при температуре 20 и 30 градусов при употреблении кисло-молочных продуктов с добавлением капсул будут ощущаться как неприятные твердые частицы, а капсулы полученные при температуре 40 и 50 градусов будут ощущаться как мягкие, упругие шарики и соответственно более приятные по органолептическим ощущениям.

4.6 Определение энергетических характеристик установки

Определение энергетических характеристик установки проводилось на мультиметре НУ4300, полученные данные заносились в таблицу. На основании полученных данных был построен график в соответствии с рисунком 59.

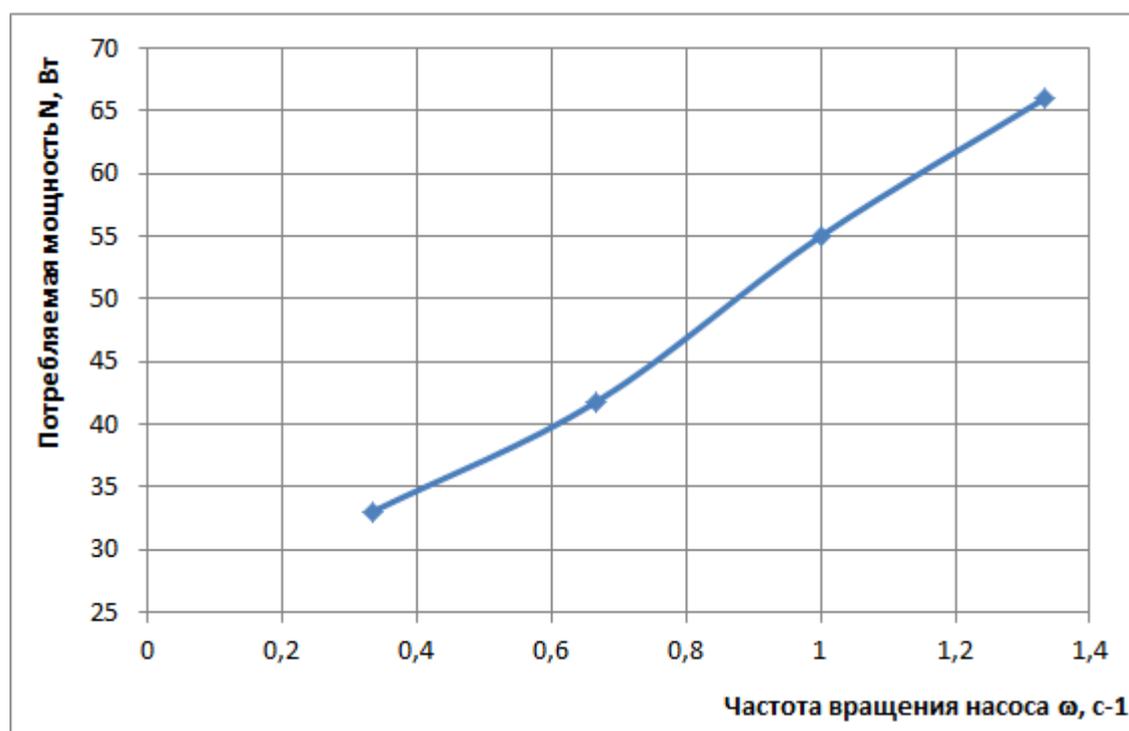


Рисунок 59 - Зависимость потребляемой мощности установки от частоты оборотов перистальтического насоса установки

Из графика видно, что с увеличением частоты оборотов насоса растет и потребляемая мощность установки.

4.7 Определение рационального режима получения капсул

Для определения зависимости диаметра капсул от температуры гелеобразующей смеси проводили измерения геометрических размеров капсул полученных при разных температурах гелеобразующей смеси. Результаты измерений приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Зависимость диаметра капсул от температуры раствора

п/п	Температура, °С	Диаметр капсулы, 10^{-3} м
1	20	2,9
2	30	2,89
3	40	2,88
4	50	2,84

Из таблицы 11 видно, что диаметр капли изменяется не значительно и не зависит от температуры гелеобразующей смеси.

Производительность установки определяли методом подсчета количества получаемых капсул за единицу времени в зависимости от частоты вращения перистальтического насоса в соответствии с рисунком 60.

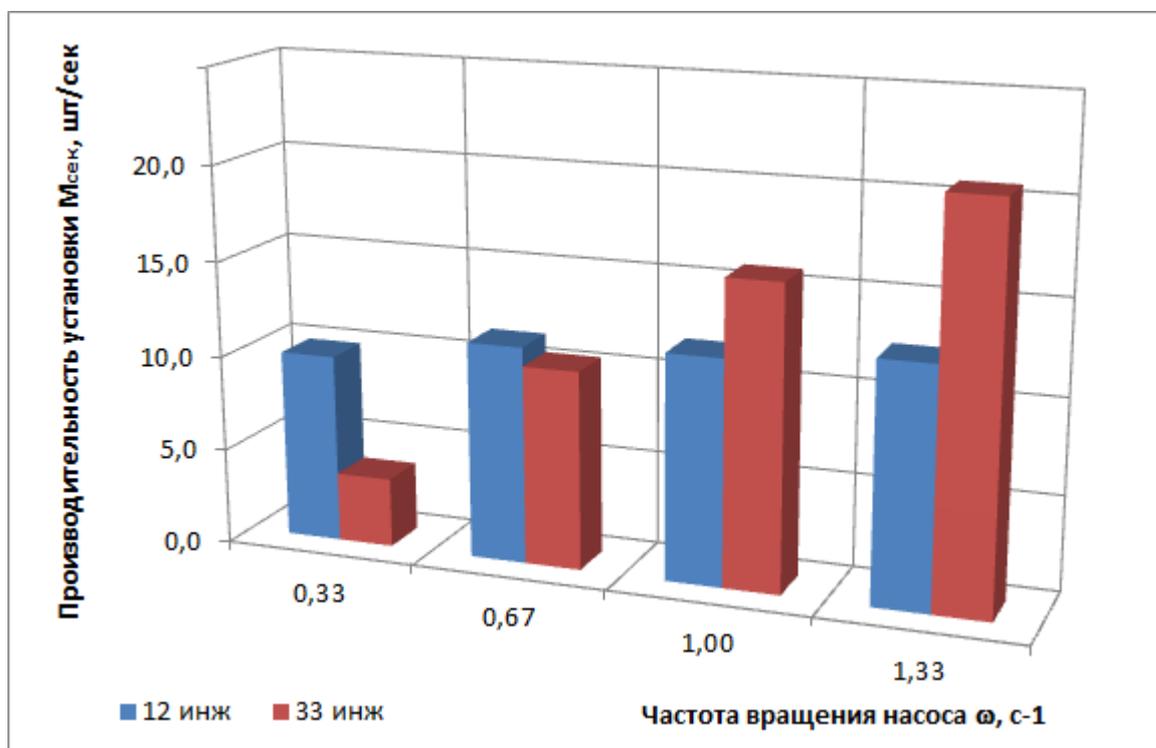


Рисунок 60 - Зависимость количества получаемых капсул от частоты вращения перистальтического насоса и вида используемой фильеры

Из рисунка 60 видно, что фильера с 12 инжекторами при низкой частоте вращения насоса имеет более высокую производительность. Это можно объяснить тем, что гелеобр смесь является неньютоновской жидкостью и имеет более высокую вязкость при низких скоростях, в результате инжекторы, имеющие больший диаметр, обладают большей пропускной способностью.

При более высоких частотах вращения насоса вязкость гелеобразующей смеси падает, пропускная способность инжекторов с меньшим диаметром увеличивается и производительность фильеры с 33 инжекторами увеличивается за счет большего количества инжекторов.

Выводы по экспериментальной части

На основе исследования влияния частоты вращения перистальтического насоса, диаметра инжекторов и температуры гелеобразующей смеси на производительность установки выявлены следующие зависимости:

1. установлена обобщенная зависимость структурно-механических характеристик от частоты вращения перистальтического насоса, диаметра инжекторов и температуры гелеобразующей смеси;

2. определены энергетические зависимости оборудования от частоты вращения рабочих органов;
3. определены зависимости диаметра капсул от частоты вращения рабочих органов, диаметра инжекторов и температуры гелеобразующей смеси;
4. выявлен наиболее рациональный режим получения капсул на установке.

5 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И АПРОБАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИНКАПСУЛИРОВАНИЯ ПРОБИОТИКОВ

5.1 Экономическая эффективность внедряемого оборудования

С каждым годом усиливается конкуренция между отечественными и зарубежными производителями продовольственных продуктов. Повышение конкурентоспособности отечественных производств возможно при обеспечении оптимизации производственного процесса, грамотном управлении производственными ресурсами, обеспечении оптимального взаимодействия систем производства и сбыта пищевой продукции. Необходимо обеспечение существенного повышения эффективности управления как отраслью в целом, так и отдельными ее составляющими [116].

Использование инновационных технологий и последних достижений научно-технического прогресса является одним из определяющих условий конкурентоспособности в настоящее время.

Установка, разработанная в рамках данной работы, позволяет получать капсулы с пробиотиками для использования в кисломолочных продуктах и, тем самым, получать пищевые продукты лечебно-профилактического действия. Более того, капсулы, полученные на разработанной установке, могут применяться также и в фармакологии.

Внедрение инновационных технологий в производство пищевых продуктов позволяет получить новые, уникальные свойства и повысить качество продукции, улучшить товарный вид, снизить себестоимость единицы продукции и получить положительный экономический эффект [117].

Для оценки экономической эффективности необходимо рассчитать годовой экономический эффект при внедрении нового оборудования для инкапсулирования пробиотиков.

С целью определения годового экономического эффекта необходимо рассчитать все его составляющие: себестоимость оборудования, затраты на сырьё и материалы для получения единицы продукции, расход сырья и материалов в месяц, стоимость изготовления капсул, амортизацию и прочие расходы.

Расчет себестоимости оборудования производится следующим образом.

Принимая во внимание, что разработанное оборудование было изготовлено двумя работниками, трудоемкость можно вычислить следующим образом:

$$Ч = К \cdot Т, \text{ чел-час} \quad (5.1)$$

$$Ч = 2 \cdot 100 = 200 \text{ чел-час,}$$

где, К – количество работников, чел.;

Т – фактическое время, потраченное на выполнение работы, час.

Исходя из того, что тарифная ставка составляет 1000 тенге за час работы, затраты на оплату труда работников составят:

$$O_T = Ч \cdot T_c, \text{ тнг} \quad (5.2)$$

$$O_T = 200 \cdot 1000 = 200000 \text{ тнг},$$

где T_c – тарифная ставка, тенге за час.

Необходимые пенсионные и социальные отчисления составляют 22% от заработной платы, соответственно, отчисления по заработанной плате составят:

$$O_{зп} = O_T \cdot 22\%, \text{ тнг}, \quad (5.3)$$

$$O_{зп} = 200000 \cdot 22\% = 44000 \text{ тнг}.$$

Если принять долю прочих расходов (транспортные, накладные) в размере 7% от всех затрат, материальные расходы составят:

$$P_{п} = (O_T + O_{зп} + P_{м}) \cdot 7\%, \text{ тнг}, \quad (5.4)$$

$$P_{п} = (200000 + 44000 + 141500) \cdot 7\% = 26985 \text{ тнг},$$

где $P_{м}$ – материальные расходы, тенге.

Таким образом, сложив все виды затрат, связанные с изготовлением оборудования, получим его себестоимость:

$$Ц_{об} = O_T + O_{зп} + P_{м} + P_{п}, \text{ тнг}, \quad (5.5)$$

$$Ц_{об} = 200000 + 44000 + 141500 + 26985 = 412485 \text{ тнг}$$

Данные по **себестоимости оборудования** приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Калькуляция себестоимости оборудования

Данные себестоимости оборудования	Количество
Количество работников, чел	2
Количество часов	100
Трудоемкость, чел-час	200
Тарифная ставка, тенге за час	1 000
Оплата труда, тнг	200 000
Отчисления от заработной платы, 22%	44 000

Продолжение таблицы 12

Данные себестоимости оборудования	Количество
Материальные расходы, тнг	141 500
Прочие расходы (транспортные, накладные), 7% от всех затрат, тнг	26 985
Итого себестоимость оборудования, тнг	412 485

Объем производства капсул с пробиотиками в месяц приведен в таблице 13 и определен формулой:

$$Q_k = T_{\text{мес}} \cdot M, \text{ кг} \quad (5.6)$$

и равен $Q_k = 100 \cdot 1,53 = 153 \text{ кг}$

где, $T_{\text{мес}}$ – количество часов в месяц, час;
 M – производительность оборудования, кг/час.

Таблица 13 - Объем производства капсул с пробиотиками в месяц, кг

Производительность оборудования, кг/час	1,53
Количество часов в месяц	100
Всего объем производства, кг	153

Расчет затрат на единицу продукции определяется суммой затрат на сырье и материалы:

$$Z_{\text{п}} = C_a + C_{\text{жк}} + C_x + C_{\text{п}}, \text{ тнг} \quad (5.7)$$

$$Z_{\text{п}} = 110 + 28 + 4 + 7,2 = 149,2 \text{ тнг}$$

где, C_a – стоимость альгината натрия натрия, тнг.;
 $C_{\text{жк}}$ - стоимость желатина, тнг.;
 C_x – стоимость 2% хлористого кальция, тнг.;
 $C_{\text{п}}$ - стоимость 1 упаковки пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii*, тнг.

Данные по затратам сырья и материалов, и расчет стоимости единицы продукции представлены в таблице 14.

Таблица 14 - Затраты на единицу продукции сырья и материалов

Расход сырья и материалов	расход на 1 кг, в г	цена, тнг	всего стоимость, тнг
Альгинат, грамм на кг	10	11	110
Желатин, грамм на кг	10	2,8	28

Продолжение таблицы 14

Расход сырья и материалов	расход на 1 кг, в г	цена, тнг	всего стоимость, тнг
Кальций хлорид, грамм на кг	20	0,2	4
Пробиотики, грамм на кг	3	2,4	7,2
ИТОГО по сырью на кг			149,2

Виды затрат и данные по изготовлению капсул с пробиотиками приведены в таблице 15.

Заработную плату лаборанта с отчислениями рассчитывали по формуле:

$$Z_{от} = Z_{л} + O_{зп}, \text{ тнг}, \quad (5.8)$$

где, $Z_{л}$ – заработанная плата лаборанта, тнг.;
 $O_{зп}$ - отчисления от заработной платы, тнг.

Необходимые социальные и пенсионные отчисления от заработной платы составляют 22% и будут равны (5.3):

$$O_{зп} = 50000 \cdot 22\% = 11000 \text{ тнг}$$

Таким образом, заработная плата лаборанта с отчислениями составит:

$$Z_{от} = 50000 + 11000 = 61000 \text{ тнг}$$

Расходы на электроэнергию будут определяться количеством часов работы и энергопотреблением оборудования:

$$P_{эл} = \Delta_{ч} \cdot T_{эфф}^{гр} \cdot K_{д} \cdot C_{э}, \text{ тнг}, \quad (5.9)$$

и составляют

$$P_{эл} = 0,1 \cdot 5 \cdot 14,5 \cdot 20 = 145 \text{ тнг},$$

где $\Delta_{ч}$ – часовое потребление электроэнергии оборудованием, 100 Ватт/час;
 $T_{эфф}^{гр}$ – эффективный фонд рабочего времени по КЗОТ, час;
 $K_{д}$ – эффективных дней в рабочем месяце;
 $C_{э}$ – стоимость электроэнергии за кВт, тнг, $C_{э}=14,5$ тнг/кВт·ч.

Расход сырья и материалов в месяц можно рассчитать, зная объем производства в месяц, расход сырья и материалов для изготовления единицы продукции, который мы определили ранее:

$$P_c = Z_{\text{п}} \cdot Q_{\text{к}}, \text{ тнг/кг}, \quad (5.10)$$

$$P_c = 149,2 \cdot 153 = 22828 \text{ тнг/кг}.$$

где, $Z_{\text{п}}$ - затраты на единицу продукции сырья и материалов, тнг;
 $Q_{\text{к}}$ - объем производства капсул с пробиотиками в месяц, кг.

Расходы на амортизацию были рассчитаны по формуле:

$$P_a = C_{\text{об}} \cdot \frac{0,25}{12}, \text{ тнг}, \quad (5.11)$$

составили

$$P_a = 412485 \cdot \frac{0,25}{12} = 8593 \text{ тнг}$$

где $C_{\text{об}}$ - себестоимость оборудования, тнг.

Прочие расходы составляют 5 % от всех затрат:

$$P_{\text{п}} = (Z_{\text{от}} + P_{\text{эл}} + P_c + P_a) \cdot 0,05, \text{ тнг}, \quad (5.12)$$

$$P_{\text{п}} = (61000 + 145 + 22828 + 8593) \cdot 0,05 = 4628 \text{ тнг}$$

Таким образом, **себестоимость изготовления капсул с пробиотиками** составит:

$$C_{\text{из}} = Z_{\text{от}} + P_{\text{эл}} + P_c + P_a + P_{\text{п}}, \text{ тнг} \quad (5.13)$$

$$C_{\text{из}} = 61000 + 145 + 22828 + 8593 + 4628 = 97194 \text{ тнг}$$

Стоимость 1 кг капсул с пробиотиками определена по формуле:

$$C_{\text{кг}} = \frac{C_{\text{из}}}{Q_{\text{к}}}, \text{ тнг/кг} \quad (5.14)$$

и составила

$$C_{\text{кг}} = \frac{97194}{153} = 635 \text{ тнг/кг}.$$

Принимая норму рентабельности в 25%, можно рассчитать ожидаемую **прибыль** от реализации капсул по следующей формуле:

$$\Pi = C_{\text{кг}} \cdot P, \text{ тнГ} \quad (5.15)$$

$$\Pi = 635 \cdot 0,25 = 159 \text{ тнГ}$$

где, P – рентабельность, 25%.

Рыночная цена за 1 кг продукции, с учетом заложенной рентабельности производства капсул, составит:

$$C = C_{\text{кг}} + \Pi, \text{ тнГ} \quad (5.16)$$

$$C = 635 + 159 = 794 \text{ тнГ}$$

Таблица 15 - Стоимость изготовления капсул с пробиотиками

Виды затрат	сумма
Зарплата лаборанта, тнГ	50 000
Отчисления от заработной платы, тнГ	11 000
Итого заработная плата с отчислениями, тнГ	61 000
Расходы на энергию, 100 Ватт в час	145
Расход сырья и материалов в месяц, тнГ-кг	22 828
Амортизация, тнГ	8 593
Прочие расходы, 5% от всех затрат, тнГ	4 628
Итого стоимость, тнГ	97 194
Стоимость на 1 кг, тнГ	635
Рентабельность, %	25%
Прибыль, тнГ	159
Цена за 1 кг, тнГ	794

Расчет экономической эффективности

Ожидаемая прибыль от производства капсул за год определяется формулой:

$$\Pi_{\text{Г}} = \Pi \cdot Q_{\text{к}} \cdot 12, \text{ тнГ} \quad (5.17)$$

и составляет $\Pi_{\text{Г}} = 159 \cdot 153 \cdot 12 = 291924 \text{ тнГ}$

В этом случае **срок окупаемости** составит:

$$T_{ок} = C_{об}/P_r, \text{ лет} \quad (5.18)$$

$$T_{ок} = 412485/291924 = 1,4 \text{ лет.}$$

Годовой экономический эффект — это отношение между всеми затратами и результатами мероприятий, направленных на получение выгоды за год.

Годовой экономический эффект от производства капсул с пробиотиками на разработанном оборудовании составит:

$$Э_{эф} = E_n \cdot C_{об} + P_r, \text{ тнг}, \quad (5.19)$$

где E_n – коэффициент амортизации, равный 0,4.

$$Э_{эф} = 0,4 \cdot 412485 + 291924 = 456918 \text{ тнг.}$$

Данные по расчету экономической эффективности приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Годовой экономический эффект

Прибыль за год, тнг	291924
Срок окупаемости, лет	1,4
Годовой экономический эффект, тнг	456918

В результате проведенных расчетов, было определено, что срок окупаемости разработанного оборудования по производству капсул составляет 1,4 года, годовой экономический эффект от использования предлагаемой технологии капсулирования составит 456 918 тенге.

5.2 Производственные испытания и внедрение результатов исследований

Экспериментальные работы были выполнены на экспериментальной установке по получению капсул в условиях лаборатории «Совершенствование техники и технологии пищевых продуктов» кафедр «Технологическое оборудование и машиностроение» и «Биотехнология и стандартизация» Государственного университета имени Шакарима города Семей. По разработанным режимам с использованием экспериментальной установки было изготовлено около 1 кг капсул как без наполнителя, так и с применением пробиотиков *Propionibacterium freudenreichii*. Апробация оборудования и производственные испытания были проведены в условиях Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» (приложение Е), ООО

«Экспериментальный сыродельный завод» г. Барнаул (приложение Ж) и в Семейском филиале ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» (Приложение И).

В Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» было выполнено производственное апробирование установки по получению капсул (приложение Е). Была выработана опытная партия капсул в количестве 430 г в соответствии с рисунком 61. В состав капсул входит: альгинат натрия, желатин, вода, а также пробиотики. В ходе апробирования установки по получению капсул было установлено, что полученные капсулы имели сферообразную форму диаметром $3 \cdot 10^{-3}$ м. По итогам производственного апробирования выявлено, что установка может использоваться как в лабораторных, так и в промышленных условиях при получении капсул и данное оборудование не требует больших капитальных затрат.

В ООО «Экспериментальный сыродельный завод» также проводились рабочие испытания установки по получению капсул (приложение Ж). Была выработана опытная партия капсул в количестве 540 г. Капсулы состоят из альгината натрия, желатина, воды, пробиотиков. При подаче в фильеру температура гелеобразующей смеси была около 38 °С, температура формообразующей смеси составляла 7 °С.

Установка прошла производственные испытания, которые проводились как на холостом ходу, так и под нагрузкой, с использованием водного раствора альгината натрия с желатином.

Результаты научно-исследовательской работы были внедрены в учебный процесс для студентов и магистрантов обучающихся по образовательной программе «Технологические машины и оборудование» (Приложение К). На данной установке проводятся практические и лабораторные занятия.



Рисунок 61 - Капсулы, полученные на экспериментальной установке

Выводы

1. Разработано, изготовлено оборудование для инкапсулирования пробиотиков и проведена промышленная апробация и производственные испытания в условиях Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий» и ООО «Экспериментальный сыродельный завод» г. Барнаул и в Семейском филиале ТОО «Казахский НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности».

2. Результаты исследований внедрены в учебный процесс для студентов и магистрантов обучающихся по образовательной программе «Технологические машины и оборудование».

3. Рассчитан годовой экономический эффект при выработке продукции на экспериментальной установке, составляющий 456918 тнг, срок окупаемости - 1,4 года.

4. Внедрение результатов диссертационной работы показывает необходимость использования экспериментальной установки для производства капсул при разработке промышленного образца и производства капсул в пищевых целях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационных исследований сделаны следующие заключения:

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, установлено, что: наиболее оптимальными параметрами являются: частота оборотов перистальтического насоса равная $0,667 \text{ с}^{-1}$, температура гелеобразующей смеси— $40 \text{ }^\circ\text{C}$, внутренний диаметр инжекторов $6,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$. Разработана методика расчета фильеры 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 капсулирования составит 456 918 тенге.

Оценка полноты решений поставленных задач: поставленные задачи полностью выполнены.

Разработка рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов: полученные данные могут быть использованы в

научно-исследовательских и в производственных условиях, бесшовные капсулы можно использовать как основу для создания продуктов нового поколения, при производстве продуктов содержащих пробиотики, витамины и биологически активные вещества

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области: за рубежом проводились исследования по применению безоболочных капсул с применением пектина, желатина, альгината натрия и использования его в пищевых целях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Назарбаев Н.А. Рост благосостояния казахстанцев: повышение доходов и качества жизни. Послание Президента Республики Казахстан Н. Назарбаева народу Казахстана. 5 октября 2018 г. http://www.akorda.kz/ru/addresses/addresses_of_president/poslanie-prezidenta-respubliki-kazahstan-nazarbaeva-narodu-kazahstana-5-oktyabrya-2018-g 22.10.2018.
- 2 Васильев В.Н. Лекции по физиологии. Физиология питания, пищеварения, мочеобразования: Учебное пособие. - М.: Чародей, 2009. - 934 с.
- 3 Сапин М.Р., Никитюк Д.Б. Анатомия человека. М.: Медицина 2001. - Т.1. – 464 с.
- 4 Бепеева А.Е., Джумажанова М.М., Жумадилова Г.А., Муратбаев А.М. Перспективность применения процесса инкапсулирования пробиотиков // Научный журнал. Вестник ГУ имени Шакарима города Семей.- 2019, №1(85).- С.183-186
- 5 Какимов А.К., Какимова Ж.Х., Бепеева А.Е., Хуторянский В.В., Есимбеков Ж.С. Пробиотики. Пребиотики. Синбиотики: аналитический обзор. – Усть-Каменогорск: ВКФ АО «НЦНТИ», 2015. – 49 с.
- 6 Пробиотики и пребиотики. Общие практические рекомендации Всемирной гастроэнтерологической организации. -Киев:«Ліки України», 2012.- С. 34-43.
- 7 Makinen K., Berger B., Bel-Rhliid R., Ananta E. Science and technology for the mastership of probiotic applications in food products // Journal of Biotechnology. №162(4) - 2012. – P. 356– 365.
- 8 Красноперова Е.Ф. Разработка технологии кисломолочного продукта с синбиотическими свойствами: дис. Канд.тех.наук: 05.18.04 / Инновационный Евразийский университет – Павлодар, 2007. – 207 с.
- 9 Какимов А.К., Какимова Ж.Х., Жарыкбасова К.С., Бепеева А.Е., Мирашева Г.О., Джумажанова М.М., Жумадилова Г.А. Инкапсулирование биологически активных добавок и их использование при производстве пищевых продуктов: монография. – РГП на ПХВ Государственный университет имени Шакарима города Семей. – Алматы, 2017. – 218с.
- 10 Нурбекова Г.Б., Байбалинова Г.М., Какимова Ж.Х. Общая характеристика и биологическая роль пробиотиков // Вестник ГУ имени Шакарима.- 2015. - №1 (69). – С. 29-31.
- 11 Бепеева А.Е. Исследование и разработка технологии производства кисломолочного продукта с инкапсулированными пробиотиками:дисс....PhD-6D072700. – Семей: ГУ имени Шакарима города Семей, 2016. – 167с.
- 12 Saad N., Delattre C., Urdaci M., Schmitter J.M., Bressollier P. An overview of the last advances in probiotic and prebiotic field // LWT - Food Science and Technology. - 2013. 50: 1-16.
- 13 Ran Su, Xiao-Li Zhu, Dai-Di Fan, Yu Mi, Chan-Yuan Yang, Xin Jia Encapsulation of probiotic *Bifidobacterium longum* BIOMA 5920 with alginate–

human-like collagen and evaluation of survival in simulated gastrointestinal // International Journal of Biological Macromolecules. December 2011. – Vol. 49, Issue 5, 1. - P. 979-984.

14 Nazzaro et al. Microencapsulation in food science and biotechnology // Current Opinion in Biotechnology. - 2012.-Vol. 23. - P.182–186.

15 Champagne C.P., Kailasapathy K. Encapsulation of probiotics/ In: Delivery and Controlled Release of Bioactives in Foods and Nutraceuticals.Woodhead publishing Ltd.- Cambridge: UK, 2008.- P. 344–369.

16 Zuidam N.J., Shimoni E. Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to take them//In: Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing.-New York: Springer-Verlag, 2009. - P. 3–29.

17 Технологии инкапсуляции <http://www.ouyao.ru/gelatinous-capsule/encapsulation>. 19.09.2017

18 Ильюшенко Е.В. Инкапсулирование биологически активных веществ с использованием обратных микроэмульсий: автореф. ... к.х.н.- М./ Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева.- 2012. -32 с.

19 Picot A., Lacroix C. Encapsulation of Bifidobacteria in whey protein-based microcapsules and survival in stimulated gastrointestinal conditions and in yoghurt// International Dairy Journal.- Vol.14(6). -2004.- P. 505–515.

20 Ding W.K., Shah N.P. Acid, bile, and heat tolerance of free and microencapsulated probiotic bacteria// Journal of Food Science.- 2007.-Vol.72(9).- P. 446–450.

21 Ананьева Н.В., Ганина В.И., Нефедова Н.В., Габрильян Г.Р. Применение иммобилизованных форм пробиотических бактерий в производстве молочных продуктов// Молочная промышленность. - 2006.- №11-С.46-47.

22 Пат. 3202, 09.10.2018г. Казахстан, МПК 51 А23Р 10/30 (2006.01). Установка для производства капсулированных продуктов // Какимов А.К., Майоров А.А., Ибрагимов Н.К., Какимова Ж.Х., Жумадилова Г.А., Муратбаев А.М., Джумажанова М.М., Солтанбеков Ж.А., РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности» бюл. № 39 – 22.10.2018. - 4 с.

23 Меншутина Н.В. Технологии инкапсуляции // Фармацевтические технологии и упаковка.- 2014.-№ 3.- С. 44-47

24 Krasaekoopt W., Bhandari B. Properties and applications of different probiotic delivery systems//Woodhead Publishing Limited.- 2012. - №5. -P. 541-594.

25 Vivek K. B. Use of encapsulated probiotics in dairy based foods//International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences.- 2013.- Vol.3 (1). - P. 188-199.

26 Какимов А.К., Муратбаев А.М., Жумадилова Г.А. Objectives of encapsulation // Казахстан-Холод 2018: сб. докл.межд.науч.-техн.конф. (15-16 марта 2018 г. Kazakhstan-Refrigeration 2018: Proceedings of the Conference (March 15-16, 2018). – Алматы: АТУ, 2018. С. 61-63.

27 Солодовник В.Д., Микрокапсулирование – М.: Химия, 1980 – 216 с.

- 28 Какимова Ж.Х., Какимов А.К., Бепеева А.Е., Хуторянский В.В. Капсулирование пробиотиков в гидрофильные полимеры // Биотехнология и общество в XXI веке: сборник статей. – Барнаул. - 2015. – С.176-179.
- 29 Chen, M.J., Chen, K.N. Applications of probiotic encapsulation in dairy products/ In: Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems.- USA:Wiley-Blackwell, 2007- P. 83–107.
- 30 Franjone, J. and N. Vasishtha, 1995. The Art and Science of microencapsulation, Technol. Today. B.F. Gibbs, S. Kermasha, I. Ali, C.H. Mulligan, Encapsulation in the food industry// A review. Int. J. Food Sci. – 1999. - Nutr., 50: 213-224.
- 31 Shahidi F. and X.Q. Han,. Encapsulation of food ingredients // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. – 1993. – 33(6): P. 501-547.
- 32 Gibbs B.F., Kermasha S., Alli, I. & Mulligan, C.N. Encapsulation in the food industry: a review// Int J Food Sci Nutr.- 1999.- №50. – P.21–24.
- 33 Zuidam N. J. & Heinrich J. Encapsulation of aroma// In. Encapsulation Technologies for Food Active Ingredients and Food Processing.- Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2009. – 1: P. 127-160
- 34 Harlan S. Hall. Encapsulated Food Ingredients, Encapsulated Food Ingredients. // Symposium IFT Meeting Philadelphia, 1977.
- 35 Технологии инкапсуляции в пищевой промышленности. <http://foodinnovation.ru/articles/3388.html> 16.10.2018 г.
- 36 David J. Rowe Chemistry and Technology of Flavors and Fragrances by Blackwell Publishing Ltd.- 2005. – P. 336.
- 37 Jackson L.S. and K. Lee, Microencapsulation and the food industry // Lebensmittel-Wissenschaft Technologie. 1991- 24(4): P. 289-297
- 38 Patent Number: 4,707,367 - US, Int. CL: A23L 27/72 Solid essential oil flavor composition /Dennis H. Miller, Jerry R. Mutka; Current Assignee: Firmenich SA - Appl. No.: 874,602; Filed: Jun. 16, 1986; Date of Patent: Nov. 17, 1987
- 39 Рощин Н.И. Псевдооживление в производстве лекарств. – М: Медицина, 1981.-288 с.
- 40 Patent Number: 5,124,162 – US, Int. CL: A23L 1/211 Spray-dried fixed flavorants in a carbohydrate substrate and process / Marijan A. Boskovic, Susan M. Vidal, Fouad Z. Saleeb; Current Assignee: Kraft Foods Global Brands LLC - Appl. № 798,332; Filed: Nov. 26, 1991; Date of Patent: Jun. 23, 1992
- 41 Хамагаева И.С. Биотехнология заквасок пропионово – кислых бактерий / И.С. Хамагаева. – Улан–Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 172 с.
- 42 Milanovic J., Manojlovic V., Levic S., Rajic N., Nedovic V. & Bugarski B. Microencapsulation of Flavors in Carnauba // Wax.Sensors.- 2010. - №10.- P. 90-129.
- 43 Porzio M.A. Flavor delivery and product development // Food Technology - 2007.-№ 01(07). - P.22–29.
- 44 Patent Number: 3,314,803-US, Int. CL: A23 L27/70 Mannitol fixed flavor and method of making same / Jr Charles Dame, Robert E Smiles; Current Assignee:

General Foods Corp - Appl. №.: 523,038; Filed: Jan. 26, 1966, Date of Patent: Apr. 8, 1967

45 Гордиенко М.Г., Сомов Т.Н., Юсупова Ю.С., Чупикова Н.И., Меньшутина Н.В. Получение микрочастиц из биodeградируемых природных и синтетических полимеров для применения их в области регенеративной медицины. / Тонкие химические технологии. 2015;10(5), С. 66-76.

46 Patent Number: 2,809,895 – US, Int. CL: A23 L27/70 Solid flavoring composition and method of preparing the same / Horton E Swisher; Current Assignee: Sunkist Growers Inc - Appl. №.: 519,719; Filed: July 5, 1955; Date of Patent: Oct. 15, 1957. – P.4.

47 Витман Л.А., Кацнельсон Б.Д., Палеев И.И. Распыливании жидкости форсунками – М: Государственное энергетическое издательство, 1962.- 272 с.

48 Patent Number: 6,475,542 B1 – US, Int. CL: B01 J13/02 Edible microcapsule and food containing the same / Takahiko Soeda, Masayuki Nakanishi, Tsuguo Inoue; Current Assignee: Ajinomoto Co Inc, Japan Capsular Products Inc - Appl. No.: 08/780, 222; Filed: Jan. 8, 1997; Date of Patent: №. 5, 2002. – P. 7.

49 Остриков А.Н., Абрамов О.В., Рудометкин А.С. Экструзия в пищевой технологии. - Спб: ГИОРД, 2004.- 288 с.

50 Алтайулы С., Орынбаева А.Х., Жадрасын Ж.К., Токмаханбет Г.Б. Современные подходы к инкапсулированию фосфолипидных концентратов растительных масел // Мат. межд. научно-практ. конф., посвященной 25-летию факультета технологии и товароведения Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I, «Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности».- Воронеж.- 2018.-С. 196-200

51 H. G. Bungenberg de Jong, H. R. Kruyt und J. Lens. Zur Kenntnis der lyophilen Kolloide // XVI. Mitteilung. Viskosität und Solkonzentration. – 1932. – Vol. 36, Issue 11–12. – P. 429–462

52 Boiy II Z., Bungenberg de Jong H. G. Biocolloids and their Interractions. Wien// Springer-Verlag.- 1956. - P. 320.

53 Zuidam N. J, Nedovic V. A, Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing // Springer Science. - 2010. – P. 391

54 Ubbink, J. Physical approaches for the delivery of active ingredients in foods. [Text] / J. Ubbink, J. Kreger // Trends Food Sci Technol/ – 2006. – № 17. – P. 244–254

55 Батырбеков Е. О., Умерзакова М. Б., Исмаилова А. Б., Утельбаева З. Т. Полимерные лекарственные формы на основе хитозана // Известия научно-технического общества «КАХАК». - 2011.- № 1(31).- С.13-16.

56 Каманина О.А., Бурмистрова Т.В., Понаморева О.Н. Образование органосиликатных капсул вокруг живых клеток дрожжей как способ обеспечения устойчивости к повреждающим факторам окружающей среды. // Мат. VIII Моск. Межд. Конгресса/ ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева: Биотехнология: состояние и перспективы развития.- Москва - 2015.- С. 368-369

57 Пат. RU 2 514 406 –Россия, МПК 7 A23L 1/305 Капсулированный белоксодержащий продукт и способ его получения / Пивоваров П. П., Пивоваров Е. П.; заявитель и патентообладатель Пивоваров П. П., Пивоваров Е. П. - № 2012133693/13 Заявл. 06.08.2012; Оpubл. 27.04.2014. – 8 с.

58 Пат. RU 2413434 –Россия, МПК7 A23L 1/328 Способ получения аналога рыбной икры / Пивоваров П. П., Пивоваров Е. П.; заявитель и патентообладатель Пивоваров П. П., Пивоваров Е. П. - № 2009132439/13; Заявл. 27.08.2009; Оpubл. 10.03.2011. – 12 с.

59 Пат. RU 2060702 – Россия, МПК7 A23L 1/328 Автоматическая установка для производства гранулированных продуктов / Вайнерман Е. С., Ряшенцев В. Ю., Мухин М. А., Ларин В. Т., Иванов В. В., Козлов А. С.; заявитель и патентообладатель Вайнерман Е. С., Ряшенцев В. Ю., Мухин М. А., Ларин В. Т., Иванов В. В., Козлов А. С. - № 94027515/13; Заявл. 25.05.1994; Оpubл. 27.05.1996. – 6 с.

60 А.К.Какимов, А.А.Майоров, Г.А.Жумадилова, Ж.А.Солтанбеков. Установка для инкапсулирования пробиотиков // Сборник научных трудов, посвященный 60-летию отдела сибниис федеральное государственное бюджетное научное учреждение Фанца. Актуальные проблемы техники и технологии переработки молока / федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий. – Барнаул: Новый формат, 2018. – 216 с.

61 Пат. RU 2422055 С2 –Россия, МПК7 A23L 1/328 Устройство для производства капсулированных продуктов / Пивоваров П.П., Пивоваров Е.П.; заявитель и патентообладатель Пивоваров П.П., Пивоваров Е.П. - № 2009132438/13; Заявл. 27.08.2009; Оpubл. 27.06.2011. – 10 с.

62 Пат. RU 2109504 С1 –Россия, МПК7 A23L 1/328 Устройство для производства капсулированных продуктов / П.А. Соловьев, В.Г. Макаров, Ю.С. Фомичев; заявитель и патентообладатель ТОО МЦ «Адаптоген» - № 96123521/13; Заявл. 09.12.1996; Оpubл. 27.04.1998. – 13 с.

63 Пат. RU 2150215 С1 –Россия, МПК7 A23L 1/328 Устройство для приготовления пищевой зернистой икры / Хачатрян А.П., Геворгян П.Г., Пайлак Г. Г. Мартиросян Г. Д., Зураб С.В., Зурабян С.В., Хачатрян Р.Г., Поладян Г.К., Петросян В.Э., Араксян Л.В.; заявитель и патентообладатель Хачатрян А.П., Хачатрян Р.Г - № 99108682/13; Заявл. 05.05.1999; Оpubл. 10.06.2000. – 10 с.

64 Оборудование производства медицинских капсул // https://studopedia.ru/8_131209_oborudovanie-proizvodstva-meditsinskih-kapsul.html 01.02.2019.

65 Капсулятор www.kapsulator.ru 01.02.2019.

66 Какимов А.К., Ибрагимов Н.К., Муратбаев А.М., Джумажанова М.М., Жумадилова Г.А. Инкапсулирование в пищевой промышленности // Пищевые инновации и биотехнологии: сборник тезисов VII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. 1. Технологии пищевых производств, качество и безопасность / под общ. ред. А. Ю.

Просекова: ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет». – Кемерово, 2019. – С. 153-154.

67 Aitbek Kakimov, Zhaynagul Kakimova, Gulmira Mirasheva, Aigerim Bereyeva, Sandugash Toleubekova, Madina Jumazhanova, Gulmira Zhumadilova, Zhanibek Yessimbekov Amino Acid Composition of Sour-milk Drink with Encapsulated Probiotics // Annual Research & Review in Biology Article no. ISSN: 2347-565X, NLM ID: 101632869 : 1-7. 2017. - №18(1). – P. ARRB.36079

68 Какимов А.К., Какимова Ж.Х., Бепеева А.Е., Джумажанова М.М., Жумадилова Г.А. Безопасность, функциональные и технологические свойства пробиотических бактерий // Сборник научных трудов, посвященный 60-летию отдела сибниис федеральное государственное бюджетное научное учреждение Фанца. Актуальные проблемы техники и технологии переработки молока / федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий. – Барнаул: Новый формат, 2018. – 216с.

69 Какимов А.К., Майоров А.А., Муратбаев А.М., Джумажанова М.М., Жумадилова Г.А. Иммуномодуляторы Современные проблемы техники и технологии пищевых производств// мат. XX Межд. научно-практ.конф/ АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Электрон. текстовые дан.– Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2019. <http://elib.altstu.ru/disser/conferenc/2019/2019> 14.05.2019

70 Какимов А.К., Майоров А.А., Ибрагимов Н.К., Жумадилова Г.А. Получение микрокапсул капельным методом // VII Межд. научно-тех. конф. Казахстан – Холод 2017: Сборник докладов конференции 15-16 марта 2017г. Алматы, 2017. С. 107-109

71 Какимов А.К., Майоров А.А., Ибрагимов Н.К., Жумадилова Г.А. Разработка методики получения микрокапсул с пробиотиками // Международный научный журнал «Молодой ученый».-Казань,2017.-№ 6.1 (140.1) .- С. 32-35.

72 Michael T. Cook, Tzortzis G., Charalampopoulos D., Vitaliy V. Khutoryanskiy Production and evaluation of dry alginate- chitosan microcapsules as an enteric delivery vehicle for probiotic bacteria //Biomacromolecules.- 2011. – P. 2834–2840.

73 Aitbek Kakimov, Zhainagul Kakimova, Madina Jumazhanova, Alibek Muratbayev, Gulmira Zhumadilova, Gulmira Mirasheva, Aleksandr Mayorov and Zhunus Soltanbekov. Experimental study of capsules formation using different types of polymers // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences ISSN 1819-6608.- 2019.-VOL. 14, № 10. – P. 1819-6608

74 Какимов А.К., Муратбаев А.М., Джумажанова М.М., Жумадилова Г.А. Установка для производства капсулированных продуктов//Научный журнал. Вестник ГУ имени Шакарима города Семей.- 2019.-№ 2(86).- С. 107-110

75 Какимов А.К., Есимбеков Ж.С., Кабулов Б.Б., Бепеева А.Е. Ротационные вискозиметры Брукфильда в исследовании пищевых продуктов // Вестник ГУ имени Шакарима города Семей. - 2015. - №3 (71). – С. 87-91.

76 Kakimov, A., Yessimbekov, Z., Bereyeva, A., Kabulov, B., Kakimova, Z. Consistency cone penetrometry for food products (2015)// Pakistan Journal of Nutrition.- 2015 - № 14 (11).- p. 837-840.

77 Инструкция по эксплуатации Микроскоп биологический серии БИОЛАМ Р-11 – Л.: Трижды ордена Ленина Ленинградское Оптико-механическое объединение им. В.И. Ленина.- 1985.- 45 с.

78. Роксин Г.И., Левинсон Микроскопическая техника. – М: Государственное издательство «Л.Б. Советская наука», 1957.- 468 с.

79 Предварительный патент РК, № 11236, «Устройство для определения консистенции пищевых продуктов» / Давыдова С.Г., Акимов М.М., Кадырбаев Е.А.; заявитель и патентообладатель: Давыдова С.Г., Опубл. 15.02.2002, бюл. № 2. – 4 с.

80 Горбатов А.В., Реология мясных и молочных продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 383 с.

81 Инструкция по эксплуатации растрового электронного микроскопа «JSM-6390LV JEOL». – Япония, 2008.- 42 с.

82 Уикли Б. Электронная микроскопия для начинающих. – М: Издательство «Мир», 1974.- 326 с.

83. Scott V.D, Love G. Quantitative Electron-probe microanalysis, New York: Ellis Horwood Limited, 1983.- 352 p.

84 Дюсембаев С.Т., Ибрагимов Н.К., Иминова Д.Е., Омаргалиева Н.К., Бедьярова С.К. Методика приготовления препаратов растений для растрового электронного микроскопа // Мат. межд. научно-практ. конф. «Перспективы инновационного развития АПК в Казахстане».- Семей, 2014 г. 19 сентября, С. 142-144

85 Joseph I. Goldstein, Dale E. Newbury, P. Echlin, David C. Joy, C. Fiori, E. Lifshin Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis.- New York, General Electric Corporate, 1981, 303 p.

86 D. Piz Histological technique in electron microscopy: Electron Microscopy//Interscience.- New York, 1963. -160 p.

87 Техническое описание и инструкция по эксплуатации замораживающий столик ОЛ-30 – Харьков: завод-производитель ООО Индмедпром, 2010.- 12 с.

88 Техническое описание и инструкция по эксплуатации Микротом санный МС-2 – Харьков: Издательство «ПРАПОР», 2010.- 10 с.

89 Инструкция по эксплуатации лиофильную сушку JFD-320 JEOL. – Япония, 2009.- 10 с.

90 Инструкция по эксплуатации вакуумной напыляющей установки JEE-420 JEOL. – Япония, 2010.- 14 с.

91 Инструкция по эксплуатации мультиметра Victor 89b. – Китай, 2010.- 6 с.

92 Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых продуктов. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.-215 с.

- 93 Schofield R. K., Scott Blair G. W. The relationship between viscosity, elasticity and plastics strength of a soft material as illustrated by some mechanical properties of flour dough. — Proc. Roy. Soc.-1932. - P. 707- 718.
- 94 Scott Blair G. W. Psycho-rheology. — J. Texture Studies, 1, 1970.- P. 231
- 95 Peleg M. Contact and fracture elements as components of the rheological memory of solid foods. — J. Texture Studies 8, 1977. - P. 39 - 48.
- 96 Шрам Г. Основы практической реологии и реометрии – М.: Колос С, 2003. – 312 с.
- 97 Кафаров В.В., Петров В.Л., Мешалкин В.П., Принципы математического моделирования химико-технологических систем. - М.: Химия, 1974.- 344 с.
- 98 Гноевой А.В., Чесноков В.М., Степаненко А.И. К проблеме математического моделирования технологических процессов. – М.: научно-технический журнал «Мясная индустрия», № 5, 1998, - с. 23-26.
- 99 Косой В.Д., Наумов А.В., Малышев А.Д. Информационно-справочная компьютерная система прогнозирования качества фарша// научно-технический журнал Мясная индустрия.- М., 2004.- № 1. – С. 60-61.
- 100 Кафаров В.В. и др. Математические основы автоматизированного проектирования химических производств// Методология проектирования и теория разработки. – М.: Химия, 1979. – 320 с.
- 101 Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. - М.: Химия, 2-е изд. перераб., 1982. – 288 с.
- 102 Оно С., Кондо С. Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях. – М: Издательство иностранной литературы, 1963, 296 с.
- 103 Дадашев Р. Термодинамика поверхностных явлений. – М: Физматлит, 2008.-280 с.
- 104 Определение поверхностного натяжения методом счета капель <http://mirznanii.com/a/172267/opredelenie-poverkhnostnog> 16.10.2018 г.
- 105 Слоэн Н. Дж. А. Упаковка шаров // В мире науки. — 1984. — № 3. — С. 72-82.
- 106 Федоров Н.Е. Методы расчетов процессов и аппаратов пищевых производств. – М.: Издательство «Пищевая промышленность», 1966. – 292 с.
- 107 Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 3-е изд., 1976. – 464 с.
- 108 Кафаров В.В., Петров В.Л., Мешалкин В.П., Принципы математического моделирования химико-технологических систем. - М.: "Химия", 1974.- 344 с.
- 109 Шипачев В.С., Высшая математика. – М.: Высшая школа, 1990.- 480 с.
- 110 Дьяконов В. Mathcad 2000: учебный курс – СПб: Питер, 2000. – 592 с.: ил.
- 111 Poncelet D., Dreffier C., Subra-Paternault P., Vandamme T.F. Introduction aux techniques de microencapsulation/ In: Microencapsulation: des Sciences aux Technologies. – Paris: Tec& doc, 2007. - P. 3–7.

112 Preparation methods of alginate nanoparticles / J. P. Paques, E. van der Linden, Cees J.M. van Rijn, L. M.C. Sagis // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2014. – P. 163–171.

113 А.К. Какимов, Г.А. Жумадилова, Н.К. Ибрагимов, М.М. Джумажанова, А.М. Муратбаев. Режимы работы установки для инкапсулирования // *Вестник Алматинского технологического университета*, Выпуск 2.- 2019.- №2 (123).- С. 71-75

114 Kakimov A.K., Muratbayev A.M., Zhumadilova G.A, Soltanbekov J.A.. Investigations of the viscosity of alginate for the development of capsules // *Materials of the XIII International scientific and practical Conference Trends of modern science// Science and education LTD – Sheffield*.- 2018. – P. 102-106.

115 Муратбаев Ә.М., Ибрагимов Н.К., Джумажанова М.М., Жумадилова Г.А. Капсулалардың геометриялық көрсеткіштерін зерттеу // *Научный журнал. Вестник ГУ имени Шакарима города Семей*. - 2019.-№ 2(86).- С. 219-222

116 Ялунина Е.Н., Гаянова В.М. Повышение эффективности развития пищевой промышленности в России с помощью инструментов стратегического управления // *Российское предпринимательство*. – 2014. – Т. 15. – № 17. – С. 120-133.

117 Пучков И.И. Пути решения вопросов повышения эффективности работы предприятий в сфере пищевой промышленности за счёт использования информационных систем // *Технические науки: традиции и инновации: материалы III Междунар. науч. конф.*— Казань: Молодой ученый, 2018. - С. 106-109. <https://moluch.ru/conf/tech/archive/287/13796/> 15.02.2019.

Приложение А
Отчет о научно-исследовательской работе

Министерство образования и науки Республики Казахстан
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ШАКАРИМА ГОРОДА СЕМЕЙ

МРНТИ 65.63.33

УДК 637.138: 637.136:637.146.1:547.458.65: 579.873.13

№ госрегистрации 0115РК01199

Инв. № 0217PK 01324



ТВЕРЖДАЮ
Ректор, докт. ист. наук, профессор
М.Г. Ескендилов
_____ 2017 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ИНКАПСУЛИРОВАННЫХ СИНБИОТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ, ОБЛАДАЮЩИХ
ИММУНОСТИМУЛИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТЬЮ, В ПРОИЗВОДСТВЕ МОЛОЧНЫХ
ПРОДУКТОВ
(заключительный)

Проректор по науке
и коммерциализации,
PhD, проф.



подпись, дата

С. Шарма

Руководитель работы,
д.т.н., проф.

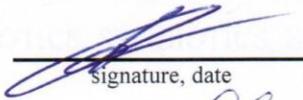
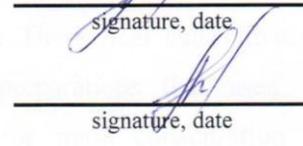
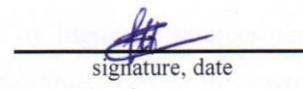
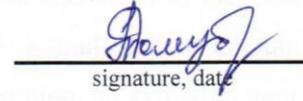
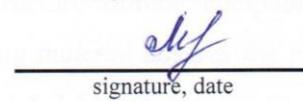
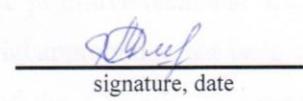
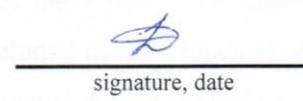
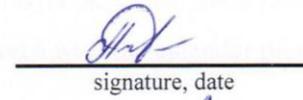
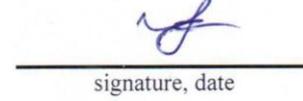


подпись, дата

А.К. Какимов

Семей 2017

RESEARCH GROUP MEMBERS

Head of research project, Dr Tech Sci, Professor	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	A.K. Kakimov (introduction, chapter 2)
Group members		
Chief research scientist, Dr Tech Sci	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	K.S. Zharykbasova (chapter 1, 2)
Senior research scientist, Cand of Tech Sci	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	Z.K. Kakimova (chapter 1, 2)
Leading research scientist, Cand of Phys and Math Sci, associate professor	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	Z.A. Parimbekov (chapter 1)
Leading research scientist, Cand of Tech Sci	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	S.S. Toleubekova (chapter 1, appendix)
Junior research scientist, Cand of Tech Sci	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	G.M. Baybalinova (chapter 1, 2.1)
Junior research scientist, Cand of Tech Sci	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	G.O. Mirasheva (chapter 2, appendix)
Junior research scientist, PhD	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	A.Y. Bepeyeva (chapter 1, 2)
Junior research scientist, PhD	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	Z.S. Yessimbekov (chapter 2, conclusion)
Junior research scientist, PhD - student	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	G.A. Zhumadilova (chapter 2.1)
Junior research scientist, PhD - student	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	M.M. Jumazhanova (chapter 2.2 appendix)
Junior research scientist, PhD - student	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	A.O. Utegenova (chapter 2.2)
Engineer	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	A.B. Demesinova (appendix)
Human Resources Officer	 <hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> signature, date	S.B. Naurzbayeva



БҰЙРЫҚТАН КӨШІРМЕ

«01» марта 2017 г.
Семей қаласы

ВЫПИСКА ИЗ ПРИКАЗА

№ 49-л
г. Семей

2.0 заключении договора по совместительству

Заключить трудовой договор о работе по совместительству со следующими преподавателями и сотрудниками:

По грантовой теме МОН РК «Научно-практическое обоснование использования инкапсулированных синбиотических препаратов, обладающих иммуностимулирующей активностью, в производстве молочных продуктов» с 01.03.2017г. по 31.12.2017г.:

КАКИМОВЫМ А.Қ.	– в качестве руководителя
ЖАРЫҚБАСОВОЙ К.С.	– в качестве главного научного сотрудника
КАКИМОВОЙ Ж.Х.	– в качестве старшего научного сотрудника
ПАРИМБЕКОВЫМ З.А.	– в качестве ведущего научного сотрудника
ТОЛЕУБЕКОВОЙ С.С.	– в качестве ведущего научного сотрудника
БЕПЕЕВОЙ А.Е.	– в качестве младшего научного сотрудника
БАЙБАЛИНОВОЙ Г.М.	– в качестве младшего научного сотрудника
ЕСИМБЕКОВЫМ Ж.С.	– в качестве младшего научного сотрудника
МИРАШЕВОЙ Г.О.	– в качестве младшего научного сотрудника
ДЖУМАЖАНОВОЙ М.М.	– в качестве младшего научного сотрудника
ЖУМАДИЛОВОЙ Г.А.	– в качестве младшего научного сотрудника
УТЕГЕНОВОЙ А.О.	– в качестве младшего научного сотрудника
ДЕМЕСИНОВОЙ А.Б.	– в качестве инженера
НАУРЗБАЕВОЙ С.Б.	– в качестве инспектора по кадрам

Основание: заявления преподавателей и сотрудников.

МП

И.о. ректора

ВЫПИСКА ВЕРНА

Б. Атантаева

ДҰРЫС
ПББ БАСТЫҒЫ 20__ ж.
ВЕРНО
НАЧАЛЬНИК ОУП 20__ г.

Қазақстан Республикасы
Білім және ғылым министрлігі

«Семей қаласының
Шақарім атындағы мемлекеттік университеті»
Шаруашылық жүргізу құқығындағы
Республикалық мемлекеттік кәсіпорны



Министерство образования и науки
Республики Казахстан

Республиканское государственное предприятие
на праве хозяйственного ведения
«Государственный университет имени
Шакарима города Семей»

ВЫПИСКА ИЗ ПРИКАЗА

«01» марта 2017 г.
Семей қаласы

№ 49-л
г. Семей

О заключении договора по совместительству

ЖУМАДИЛОВОЙ Г.А. – с 01.03.2017г. по 31.12.2017г. заключить трудовой договор в качестве младшего научного сотрудника для выполнения работ по грантовой теме МОН РК «Научно-практическое обоснование использования инкапсулированных синбиотических препаратов, обладающих иммуностимулирующей активностью, в производстве молочных продуктов»
Основание: заявление ЖУМАДИЛОВОЙ Г.А.

И.о. ректора



Б. Атанбаева

ПББ БАСТЫҒЫ	20	ж.
ВЕРНО		
НАЧАЛЬНИК ОУП	04	04 2017 г.

Приложение Б

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ
PATENT

№ 3202

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL



(21) 2018/0285.2

(22) 24.04.2018

(15) 09.10.2018

(54) Капсула түріндегі азық-түлікті өндіруге арналған қондырғы
Установка для производства капсулированных продуктов
Device for producing encapsulated products

(73) Какимов Айтбек Калиевич (KZ)
Kakimov Aitbek Kalievich (KZ)

(72) Какимов Айтбек Калиевич (KZ)
Майоров Александр Альбертович (RU)
Ибрагимов Надир Кадирович (KZ)
Какимова Жайнагуль Хасеновна (KZ)
Жумадилова Гульмира Амангазыевна (KZ)
Муратбаев Алибек Манарбекович (KZ)
Джумажанова Мадина Муратовна (KZ)
Солтанбеков Жунус Айтмурзаевич (KZ)

Kakimov Aitbek Kalievich (KZ)
Maiorov Aleksandr Albertovich (RU)
Ibragimov Nadir Kadyrovich (KZ)
Kakimova Zhainagul Khassenovna (KZ)
Zhumadilova Gulmira Amangasyevna (KZ)
Muratbaev Alibek Manarbekovich (KZ)
Dzhumazhanova Madina Muratovna (KZ)
Soltanbekov Zhunus Aitmurzaevich (KZ)





«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of RSE «National institute of intellectual property»

Приложение В

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ **РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН**

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ
PATENT

№ 4286

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL



(21) 2019/0508.2

(22) 04.06.2019

Қазақстан Республикасы Пайдалы модельдер мемлекеттік тізілімінде тіркеу күні / Дата регистрации в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан / Date of the registration in the State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan: 09.09.2019

(54) Инкапсулирленген пробиотиктер қосылған йогурт өндіру тәсілі
Способ производства йогурта с инкапсулированными пробиотическими культурами
Method of producing yogurt with encapsulated probiotic cultures

(73) Какимов Айтбек Калиевич (KZ); Джумажанова Мадина Муратовна (KZ)
Kakimov Aitbek Kaliyevich (KZ); Dzhumazhanova Madina Muratovna (KZ)

(72) Какимов Айтбек Калиевич (KZ) Джумажанова Мадина Муратовна (KZ) Мирашева Гульмира Оразбековна (KZ) Какимова Жайнагуль Хасеновна (KZ) Жумадилова Гульмира Амангазыевна (KZ) Муратбаев Алибек Манарбекович (KZ) Бейсембаева Галия Шамшихановна (KZ) Смагулова Мерuert Габдылманапқызы (KZ) Қабденова Айнұр Төлеуханқызы (KZ) Қайырбекова Таншолпан Максұтқызы (KZ)	Kakimov Aitbek Kaliyevich (KZ) Dzhumazhanova Madina Muratovna (KZ) Mirasheva Gulmira Orazbekovna (KZ) Kakimova Zhainagul Khasenovna (KZ) Zhumadilova Gulmira Amangasyevna (KZ) Muratbaev Alibek Manarbekovich (KZ) Beisembayeva Galiya Shamshikhanovna (KZ) Smagulova Meruert Gabdylmanapkyzy (KZ) Kabdenova Ainur Toleukhankyzy (KZ) Kaiyrbekova Tansholpan Maksutkyzy (KZ)
---	---



ЭЦҚ қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed by EDS

Е. Оспанов
Y. Ospanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры
Директор РПТ «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

Приложение Г

Протокол испытаний инжекторов форсунки



Испытательная региональная лаборатория инженерного профиля
«Научный центр радиэкологических исследований» ГУ им. Шакарима г. Семей
071412, г. Семей, ул. Физкультурная 4 «А»

Идентификационный номер ИРЛИП НЦРЭИ: 07-4

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№ 947 от «25» января 2019 г.

Всего листов 2
лист 1 из 2

- 1 Наименование образца продукции: Форсунка, шприцы
- 2 Заказчик: Жумадилова Г.
- 3 Заявка: № 621 от «21» января 2019 г.
- 4 Обозначение НД на продукцию:
- 5 Вид испытаний: Рентгеноспектральный анализ
- 6 Дата получения образца: «21» января 2019 г.
- 7 Дата проведения испытания: «24» января 2019 г.
- 8 НД на метод испытаний: DanielPiz, 1969. JosephI, Goldstein, 1981.
- 9 Испытания проведены при температуре помещения 20,2 °С, влажности не более 64 %

№ п/п	№ пробы	Дата отбора проб	Наименование проб	Место отбора проб	Кол. снимков	Хим. состав, %
1	3156	21.01.19	Форсунка	Аптека	1	-
2	3157	21.01.19	Инсулиновый шприц	Аптека	1	-
3	3158	21.01.19	Инсулиновый шприц	Аптека	1	-
4	3159	21.01.19	Шприц на 2,5 мл	Аптека	1	-
5	3160	21.01.19	Шприц на 3 мл	Аптека	1	-
6	3161	21.01.19	Шприц на 5 мл	Аптека	1	-
7	3162	21.01.19	Шприц на 20 мл	Аптека	1	-

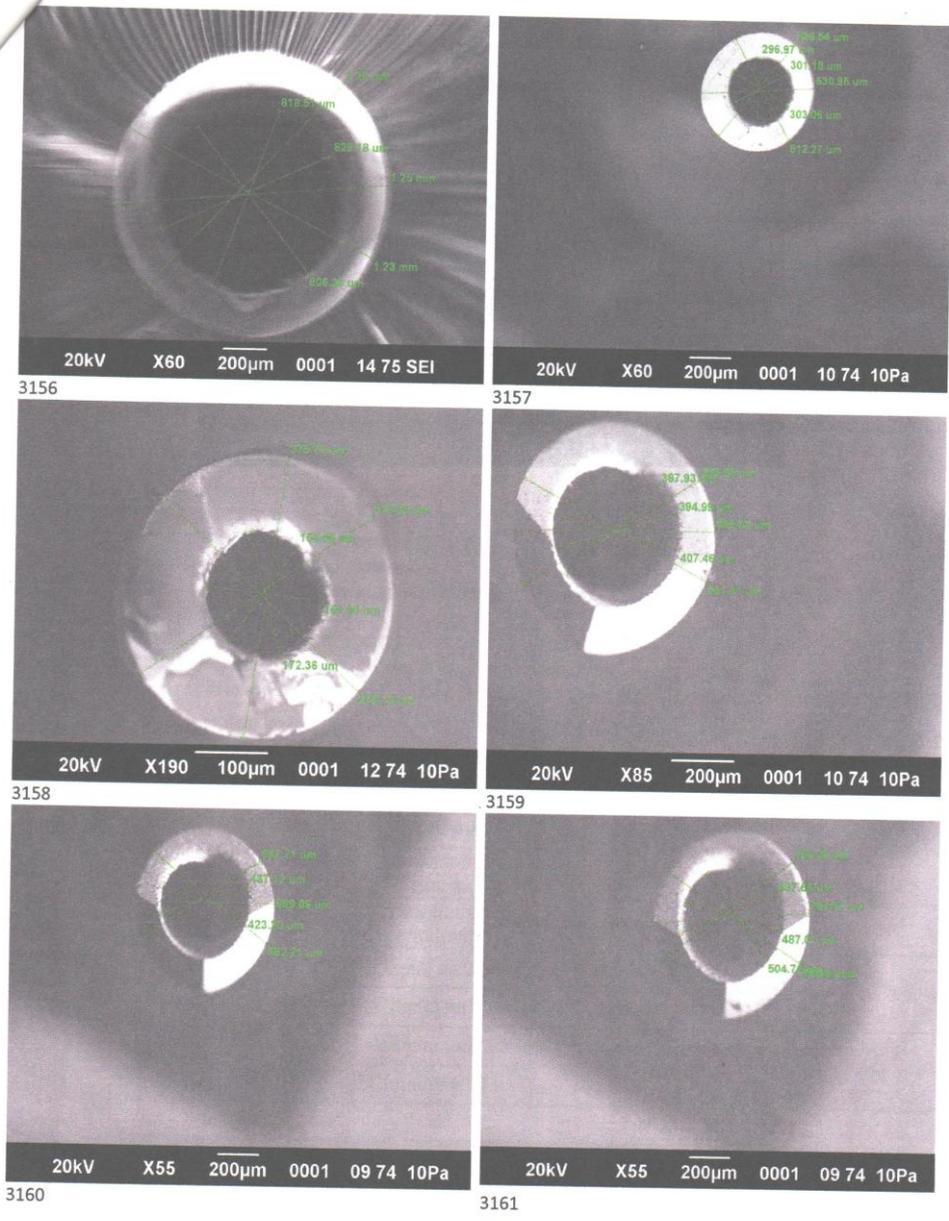
Ответственный за оформление протокола:  Д.Е.Иминова

Исполнитель:  Ж.Т.Сериков

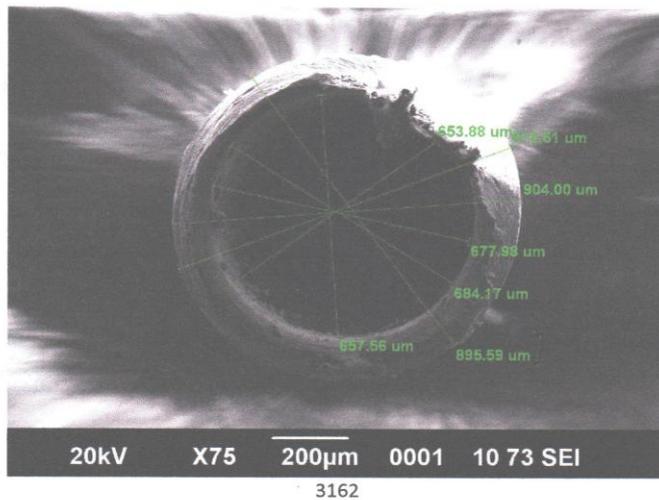
Руководитель ИРЛИП НЦРЭИ:  С.Т.Дюсембаев

Перепечатка настоящего протокола (полная или частичная) без разрешения ИРЛИП НЦРЭИ запрещена

Образец № 3156 – изначальный инжектор фильеры установки; № 3157 – игла от инсулинового шприца 1; № 3158 - игла от инсулинового шприца 1; № 3159 - игла от шприца объемом 2,5 мл; № 3160 - игла от шприца объемом 3 мл; № 3161 - игла от шприца объемом 5 мл



Образец № 3162 - игла от шприца объемом 20 мл



Приложение Д

Протокол испытаний капсул из альгината натрия без добавления желатина



Испытательная региональная лаборатория инженерного профиля
«Научный центр радиозоологических исследований» ГУ им.Шакарима г.Семей
071412, г. Семей, ул. Физкультурная 4 «А»

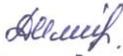
Идентификационный номер ИРЛИП НЦРЭИ: 07-4

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 827 от «12» апреля 2017 г.

Всего листов 3
лист 1 из 3

- 1 Наименование образца продукции: Капсула
- 2 Заказчик: Жумадилова Г., Джумажанова М.
- 3 Заявка: № 541 от «07» апреля 2017 г.
- 4 Обозначение НД на продукцию:
- 5 Вид испытаний: Рентгеноспектральный анализ
- 6 Дата получения образца: «07» апреля 2017 г.
- 7 Дата проведения испытания: «11» апреля 2017 г.
- 8 НД на метод испытаний: DanielPiz, 1969. JosephI, Goldstein, 1981.
- 9 Испытания проведены при температуре помещения 21,3 °С, влажности не более 68 %

№ п/п	№ пробы	Дата отбора проб	Наименование проб	Место отбора проб	Кол. снимков	Хим. состав, %
1	2843	07.04.17	Капсула №1	Лаб.образец	2	-
2	2844	07.04.17	Капсула №2	Лаб.образец	2	-
3	2845	07.04.17	Капсула №3	Лаб.образец	2	-
4	2846	07.04.17	Капсула №4	Лаб.образец	2	-
5	2847	07.04.17	Капсула №5	Лаб.образец	2	-

Ответственный за оформление протокола:  Д.Е.Иминова

Исполнитель:  Н.К.Ибрагимов

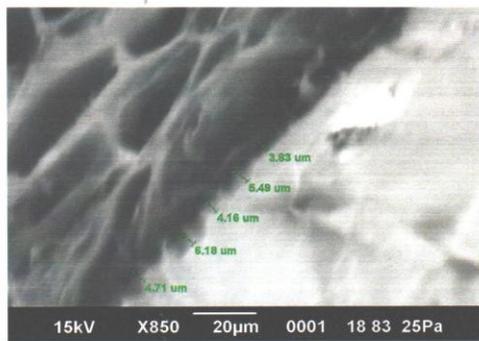
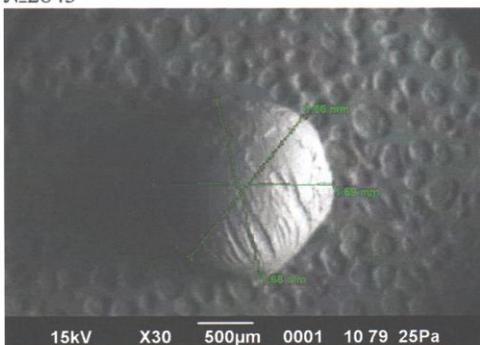
Руководитель ИРЛИП НЦРЭИ:  С.Т.Дюсембаев



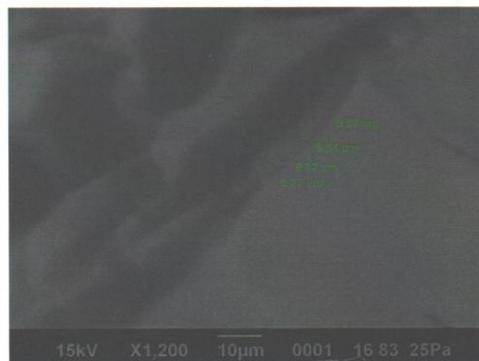
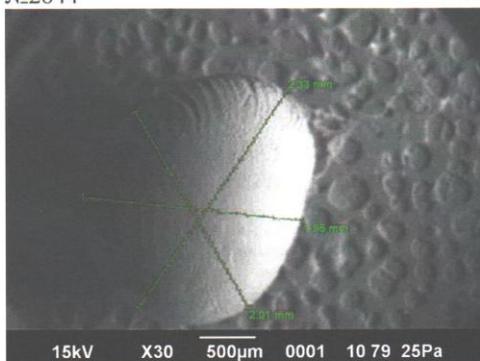
Перепечатка настоящего протокола (полная или частичная) без разрешения ИРЛИП НЦРЭИ запрещена

Образец № 2843 – 0,5% альгината натрия; образец № 2844 – 1% альгината натрия;
образец № 2845 – 1,5% альгината натрия

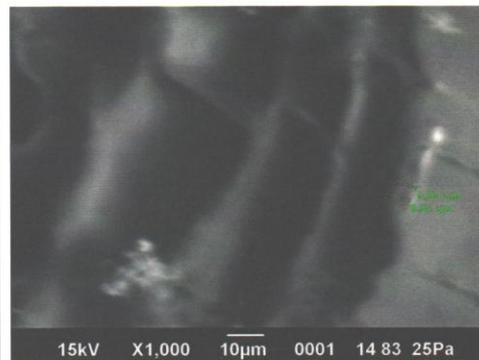
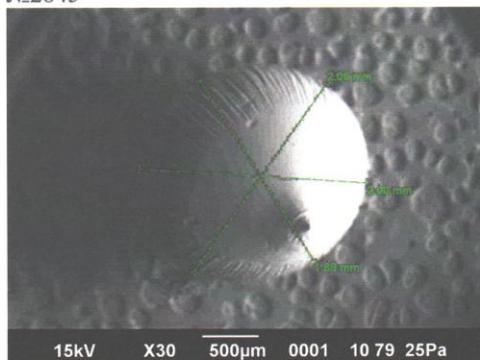
№2843



№2844

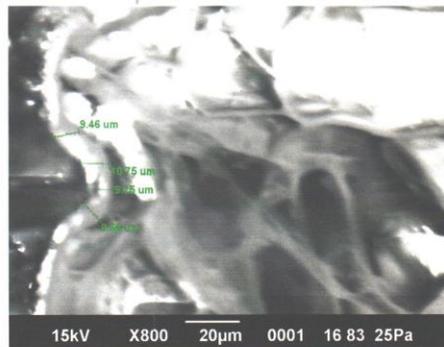
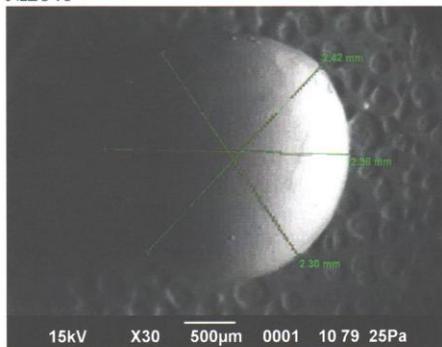


№2845

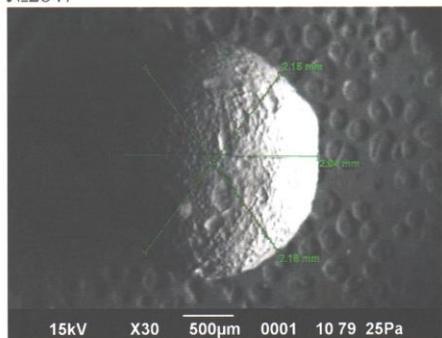


Образец № 2846 – 2% альгината натрия; образец № 2847 – 3% альгината натрия

№2846



№2847



Приложение Е

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ФГБНУ «Федеральный
Алтайский научный центр
агробиотехнологий» (ФАНЦА)
 А.А. Гаркуша
« 18 » 02 2019 г.

АКТ ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ

Комиссия в составе: главный научный сотрудник, д.т.н., профессор Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий (ФАНЦА), Майоров А.А., зав. лабораторией микробиологии отдела СибНИИС ФАНЦА, к.б.н., Отт Е.Ф., директор Экспериментального сыродельного завода, к.т.н., Хавров В.Ф., инженер – конструктор отдела СибНИИС ФАНЦА Фогель В.А., зав. экспериментальным участком отдела СибНИИС ФАНЦА Волков В.И., в присутствии PhD докторанта по специальности 6D072400–«Технологические машины и оборудование» университета им. Шакарима (г. Семей) Жумадиловой Г.А. провели испытания установки для получения капсул и составили настоящий акт о том, что в результате проведения научно-исследовательской работы на тему «Исследование процесса инкапсулирования с целью создания оборудования» было выполнено производственное апробирование установки по получению капсул. Опытная партия капсул в количестве 430 г выработана с 12 по 14 февраля 2019 года.

Состав капсул – альгинат, желатин, вода.

Производственное апробирование установки для получения капсул показало, что качество полученных капсул, геометрические размеры и форма удовлетворяют требованиям, предъявляемым к продукции техническим заданием.

Наличие в составе капсул биологически активных добавок, в частности пробиотиков, содержащих не ухудшает органолептические показатели готового продукта. По физико-химическим показателям опытные образцы соответствует требованиям нормативных документов.

Комиссия провела оценку технических показателей установки:

Наименование показателя	Характеристика и технические показатели
Производительность установки, кг/ч	1,53
Масса рабочей жидкости, г	430
Продолжительность опыта, мин	24
Частота вращения перистальтического насоса, об/мин	от 24 до 60

Частота встряхивателя, раз/мин	От 72 до 180
Энергетические характеристики	
Вес капсулы, г	от 0,0093 до 0,0120
Количество капсул, шт/мин	от 864 до 2160
Диаметр капсулы, мм	от 2,0 до 3,5
Диаметр иглы-капилляра, мм	0,65
Количество игл-капилляров в установке, шт	12
Геометрические параметры установки:	без блока питания
Длина, мм	340
Ширина, мм	430
Высота, мм	645

Комиссия отметила, что установка может быть использована как для проведения научных исследований в лабораторных условиях, так и для промышленного использования при получении экспериментальных партий продукта.

Освоение данного оборудования не требует больших капитальных вложений и может осуществляться на предприятиях пищевой промышленности.

Главный научный сотрудник
Федерального Алтайского научного
центра агробιοтехнологий (ФАНЦА),
д.т.н., профессор

 Майоров А.А.

Зав. лабораторией микробиологии
отдела СибНИИС ФАНЦА, к.б.н.

 Отт Е.Ф.

Директор Экспериментального
сыродельного завода, к.т.н.

 Хавров В.Ф.

Инженер – конструктор отдела
СибНИИС ФАНЦА

 Фогель В.А.

PhD докторант специальности 6D072400
– «Технологические машины и
оборудование»

 Жумадилова Г.А.

Приложение Ж

УТВЕРЖДАЮ:
Директор ООО «Экспериментальный
сыродельный завод» (ЭСЗ)
В.Ф.Хавров
09 апреля 2019 г.



АКТ РАБОЧИХ ИСПЫТАНИЙ установки для получения капсул

Комиссия в составе: председатель комиссии, главный научный сотрудник, д.т.н., профессор Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий (ФАНЦА), Майоров А.А., зав. лабораторией микробиологии отдела СибНИИС ФАНЦА, к.б.н., Отт Е.Ф., инженер – конструктор отдела СибНИИС ФАНЦА Фогель В.А., зав. экспериментальным участком отдела СибНИИС ФАНЦА Волков В.И., в присутствии PhD докторанта по специальности 6D072400– «Технологические машины и оборудование» университета им. Шакарима (г. Семей) Жумадиловой Г.А., провели испытания установки для получения капсул и составили настоящий акт о том, что в результате проведения научно-исследовательской работы на тему «Исследование процесса итнкапсулирования с целью создания оборудования» были проведены рабочие испытания установки по получению капсул. Опытная партия капсул в количестве 540 г выработана 09 апреля 2019 года. Капсулы имели округлую форму, близкую к шарообразной.

Состав капсул – альгинат, желатин, вода. Температура смеси при подаче на капсулирование составляла $(38\pm 1)^{\circ}\text{C}$, температура охлаждающей жидкости (раствор CaCl_2) составляла $(7\pm 1)^{\circ}\text{C}$.

Производственное апробирование установки для получения капсул показало, что качество полученных капсул, геометрические размеры и форма удовлетворяют требованиям, предъявляемым к продукции техническим заданием.

Наличие в составе капсул биологически активных добавок, в частности пробиотиков, содержащихся в составе, не изменяет производительность установки и органолептические показатели готового продукта. По физико-химическим показателям опытные образцы соответствует требованиям нормативных документов.

Результаты проведенных рабочих испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические показатели установки для получения капсул

Наименование показателя	Характеристика и технические показатели
Производительность установки, кг/ч	1,56
Масса рабочей жидкости, г	540
Продолжительность опыта, мин	24
Частота вращения перистальтического насоса, об/мин	от 24 до 60
Частота встряхивателя, раз/мин	От 72 до 180
Характеристики капсул и капилляров	
Вес капсулы, г	от 0,0095 до 0,0110
Количество капсул, шт/мин	от 884 до 2260
Диаметр капсулы, мм	от 2,0 до 3,5
Диаметр иглы-капилляра, мм	0,65
Количество игл-капилляров в установке, шт	12

Комиссия отметила, что установка работала без перебоев и может быть использована как для проведения научных исследований в лабораторных условиях, так и для промышленного использования при получении экспериментальных партий продукта.

Применение установок такого типа может явиться основанием и прототипом для разработки аналогичных промышленных установок. По мнению комиссии установка не требует больших капитальных вложений и производственных площадей.

Главный научный сотрудник
Федерального Алтайского научного
центра агробιοтехнологий (ФАНЦА),
д.т.н., профессор

Майоров А.А.

Зав. лабораторией микробиологии
отдела СибНИИС ФАНЦА, к.б.н.

Отт Е.Ф.

Инженер – конструктор отдела
СибНИИС ФАНЦА

Фогель В.А.

PhD докторант специальности 6D072400
– «Технологические машины и
оборудование»

Жумадилова Г.А.

Приложение И

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Семейского филиала
ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности»



А.К. Суйчинов

05 2019 г.

АКТ ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ

Комиссия в составе: Директор Семейского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», PhD, А.К. Суйчинов; главный инженер Семейского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» - К.М. Смагулов; старший научный сотрудник лаборатории «Технология молока и молочной продукции» Семейского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» - З.Т. Смагулова; декан факультета дальнейшего образования ГУ имени Шакарима города Семей, д.т.н., профессор - А.К. Какимов; заведующий кафедрой «Технологическое оборудование и машиностроение», PhD, Тохтаров Ж.Х.; и.о. ассоциированного профессора кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», к.т.н. - Н.К. Ибрагимов; PhD докторант специальности 6D072400 – «Технологические машины и оборудование» - Г.А. Жумадилова, составили настоящий акт о том, что в результате проведения научно-исследовательской работы на тему «Исследование процесса инкапсулирования пробиотиков с целью создания оборудования» на базе лаборатории СФ ТОО «КазНИИППП» проведена производственная апробация установки для получения капсул. Опытная партия капсул в количестве 380 г выработана 20 мая 2019 года.

В состав капсул входит альгинат 1%, желатин 1%, пропионовокислые бактерии *Propionibacterium freudenreichii*, вода дистиллированная. Температура водного раствора термотопного гелеобразователя составляла 40°C, температура формообразующей жидкости составляла 4°C.

Производственное апробирование установки для получения капсул показало, что качество полученных капсул, геометрические размеры и форма удовлетворяют требованиям, предъявляемым к продукции техническим заданием.

Добавление пробиотиков в состав капсул не влияет на органолептические показатели готового продукта. По физико-химическим показателям опытные образцы соответствует требованиям нормативных документов.

Технические показатели установки внесены в таблицу 1:

Таблица 1. Технические показатели установки для получения капсул

Наименование показателя	Характеристика и технические показатели
Производительность установки, кг/ч	0,78
Масса рабочей жидкости, г	380
Продолжительность опыта, мин	30
Частота вращения перистальтического насоса, об/мин	от 20 до 80
Частота встряхивателя, раз/мин	От 60 до 240
Геометрические характеристики	
Вес капсулы, г	от 0,0062 до 0,0093
Количество капсул, шт/мин	от 360 до 1470
Диаметр капсулы, мм	от 2,3 до 3,1
Диаметр инжектора, мм	0,65
Количество инжекторов в установке, шт	34
Геометрические параметры установки:	без блока питания
Длина, мм	340
Ширина, мм	430
Высота, мм	645

По результатам апробации комиссия отмечает, что данная установка может быть рекомендована для проведения научных исследований в лабораторных условиях и при получении экспериментальных партий продукта в производственных условиях на предприятиях пищевой промышленности.

Установка для получения капсул не требует больших капитальных вложений.

Главный инженер СФ ТОО «КазНИИППП»

Смагулов К.М.

Старший научный сотрудник лаборатории
«Технология молока и молочной продукции» СФ
ТОО «КазНИИППП»

Смагулова З.Т.

Декан ФДО ГУ им. Шакарима г.Семей, д.т.н.,
профессор

Какимов А.К.

Зав.кафедрой «Технологическое оборудование и
машиностроение», PhD

Тохтаров Ж.Х.

И.о. ассоциир. проф. кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», к.т.н.  Ибрагимов Н.К.

PhD докторант специальности 6D072400 «Технологические машины и оборудование» –  Жумадилова Г.А.

Приложение К

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ШАКАРИМА ГОРОДА СЕМЕЙ

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-
воспитательной работе

Ж.Т. Мукаев

« _____ » 2019 г.



АКТ внедрения результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс

Мы, нижеподписавшиеся члены комиссии: директор Департамента по академическим вопросам Тулеугалиева С.С., декан факультета дальнейшего образования Какимов А.К., декан инженерно-технологического факультета Касенов А.Л., руководитель отдела по управлению научной и инновационной деятельности Есимбеков Ж.С., составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы Жумадиловой Г.А. «Исследование процесса инкапсулирования пробиотиков с целью создания оборудования», научный руководитель Какимов А.К., внедрены в учебный процесс для студентов и магистрантов обучающихся по образовательной программе «Технологические машины и оборудование».

Указанные результаты внедрены в виде установки «Установка для инкапсулирования пробиотиков».

На данной установке проводятся лабораторные и практические занятия по дисциплинам «Технологическое оборудование предприятий мясной и молочной промышленности 2», «Современное оборудование общественного питания».

Настоящий акт составлен в 4-х экземплярах и передан на хранение: первый экземпляр – на кафедру «Технологическое оборудование и машиностроение», второй экземпляр – в деканат инженерно-технологического факультета, третий экземпляр – в деканат факультета дальнейшего образования, четвертый экземпляр – в отдел по управлению научной и инновационной деятельности.

Члены комиссии:

Тулеугалиева С.С.

Какимов А.К.

/ Касенов А.Л.

Есимбеков Ж.С.
