

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
(ФГАНУ «ВНИМИ»)

На правах рукописи

ЯШИН АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФИТОЛАКТАТНОГО КИСЕЛЯ С
НИЗКИМ ГЛИКЕМИЧЕСКИМ ИНДЕКСОМ**

Специальность: 4.3.3 – Пищевые системы

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук
Агаркова Евгения Юрьевна

Москва, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ | 12 |
| 1.1 Актуальность и практическая значимость создания новых поликомпонентных напитков на молочной основе киселеобразной консистенции | 12 |
| 1.2. Молочная основа как перспективная модель создания новых пищевых продуктов | 15 |
| 1.3. Мука грецкого ореха как потенциальный компонент продуктов нового поколения | 19 |
| 1.4. Псиллиум – перспективный структурообразователь пищевых систем | 25 |
| 1.5 Свойства пектина и его использование в молочных системах | 35 |
| 1.6. Современное состояние рынка продуктов с мукой грецкого ореха на молочной основе | 41 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ К ОБЗОРУ ЛИТЕРАТУРЫ | 45 |
| ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ | 47 |
| 2.1 Объекты исследований | 47 |
| 2.2 Методы исследований | 48 |
| ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ | 52 |
| 3.1 Установление рациональной дозы внесения муки грецкого ореха в водных растворах | 52 |
| 3.3 Исследование реологического поведения псиллиума..... | 58 |
| 3.4 Блокировка кальция в окрестности казеиновых мицелл | 62 |
| 3.5 Подбор концентраций пектина для стабилизации систем молоко- мука грецкого ореха | 64 |
| 3.6 Определение дозы пектина для стабилизации системы топленое молоко- мука грецкого ореха..... | 68 |
| 3.7 Исследование влияния активной, титруемой кислотности и состава модельных систем на их органолептические характеристики | 74 |

| | |
|--|-----|
| 3.8 Установление зависимостей напряжения сдвига от скорости сдвига поликомпонентных молочных систем | 81 |
| 3.9 Определение математической зависимости критической массовой доли пектина от массовой доли МГО | 86 |
| 3.10 Эмпирический подбор массовой доли псиллиума в системе молоко-пектин-МГО | 90 |
| 3.11 Разработка технологического процесса получения напитка с киселеобразной консистенцией | 95 |
| 3.12 Экономические и социальные эффекты от внедрения поликомпонентного напитка на молочной основе киселеобразной консистенции без сахара | 100 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 106 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ | 108 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 109 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 128 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Метаболические нарушения (МН) в настоящее время относятся к числу ключевых медико-социальных проблем современного здравоохранения Российской Федерации. Их приоритетность обусловлена множеством данных о значимости данного патогенетического фактора в развитии широкого спектра алиментарно-зависимых патологий, что в конечном итоге детерминирует высокие показатели заболеваемости, преждевременной смертности и наносит существенный ущерб трудовому потенциалу страны [1–4]. Большая часть больных с диагностированными МН имеют дисбаланс потребления микроэлементов [5–7] и повышенное потребление углеводов, в том числе за счет частого употребления в питании сладких напитков [8–9]. Альтернативой их применения может являться расширение ассортимента и возможность регулярного употребления пищевых продуктов и напитков с пониженным содержанием углеводов.

Традиционным русским напитком, не имеющим зарубежного аналога, является кисель, особенностью которого является возможность его использования в ежедневном рационе как напитка, так и самостоятельного блюда. Однако существующие рецептуры и технологии производства киселей предполагают включение высокого содержания углеводов, что не позволяет его рекомендовать для регулярного потребления, в первую очередь, в диетотерапии при метаболических нарушениях, сердечно-сосудистых заболеваниях и сахарном диабете [8–12].

В то же время, на протяжении последнего десятилетия отмечается повышенный спрос на «здоровые» продукты, в том числе продукты с пониженным содержанием сахаров [13]. Политика государства – Федеральный закон № 47-ФЗ (поправки в № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов»), а также «Основы государственной политики в области здорового питания» (Распоряжение Правительства № 1873-р) и др. – направлена как на ограничение «вредных» продуктов питания, так и поддержку производителей

здорового питания. Анализ рынка напитков, в том числе киселей, показал практически полное их отсутствие без включения крахмала и сахара и крайне незначительный ассортимент киселей на молочной основе. Разработка рецептуры несладких киселей без использования искусственных компонентов позволит создать новый пищевой продукт для массового потребления, включая пациентов с метаболическими нарушениями. Востребованность данного направления подтверждается активной разработкой в последние годы ряда официальных документов, которые призваны направленно развивать технологии обогащенных продуктов в РФ, в частности: Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 15 марта 2021 г. № 143); Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20) и др.

В связи с чем, исследования и разработка новых технологий в области производства поликомпонентного напитка на молочной основе киселеобразной консистенции с низким гликемическим индексом являются актуальными.

Концепция исследования – упорядочение и анализ технологий производства фитолактатных продуктов с позиции адаптации их процессовых и композиционных решений при модернизации рецептуры традиционного русского киселя применительно к условиям молочных предприятий. Интеграция отобранных технологических элементов призвана обеспечить создание продукта с низким гликемическим индексом, сохраняющего аутентичность и выступающего в качестве значимой единицы национального культурного кода.

Степень разработанности.

Большой вклад в разработку полидисперсных систем на молочной основе и другого сырья животного происхождения, в том числе с использованием растительных компонентов из различных источников, исследование зависимостей формирования их структуры с учетом динамических взаимодействий в процессе технологических переделов, внесли отечественные

и зарубежные ученые: Донская Г.А., Дунченко Н.И., Евдокимов И.А., Липатов Н.Н., Петров А.Н., Просеков А.Ю., Радаева И.А., Остроумов Л.А., Свириденко Ю.Я., Харитонов В.Д., Храмцов А.Г., Чернуха И.М., Aspri M., Booth A., Shateri Z. и др. Созданные ими научные школы позволили реализовать на практике большое количество технологических решений в области получения многокомпонентных систем на молочной основе, в том числе функциональной направленности.

Цели и задачи диссертационного исследования.

Целью работы являлось создание технологии фитолактатного киселя с низким гликемическим индексом для включения в общие и специализированные рационы питания.

Задачами диссертационной работы являлись:

1. Систематизировать данные по состоянию рынка напитков киселеобразной консистенции, применяемым технологиям и ингредиентам, обеспечивающим достижение свойственных этой группе продукции органолептических характеристик, в частности консистенции (текстуры); обосновать необходимость разработки напитков с пониженным гликемическим индексом и выбрать приоритетные растительные компоненты для получения фитолактатных композиций.

2. Определить компоненты растительного происхождения с низким гликемическим индексом, способствующие получению киселеобразной консистенции, их рациональные композиции и технологически обоснованные количества внесения с учетом ионных взаимодействий в поликомпонентных модельных системах.

3. Установить зависимости формирования физико-химических и органолептических характеристик, в частности киселеобразной консистенции, поликомпонентных систем на молочной основе в зависимости от композиционных особенностей моделей-аналогов разрабатываемого продукта.

4. Провести поэтапную разработку рецептуры, включающую математическую модель для определения рационального соотношения

компонентов в системе «молоко / мука грецкого ореха (МГО) / пектин» и экспериментальное обоснование количества вносимого псиллиума.

5. Обосновать применение в технологии фитолактатного киселя топленого молока и исследовать влияние физико-химических показателей систем с избыточной термической обработкой на органолептические и реологические характеристики получаемых поликомпонентных продуктов.

6. Разработать технологию фитолактатного киселя с низким гликемическим индексом и документ по стандартизации на напиток молочный «Киселактис», провести промышленное внедрение разработанной технологии на предприятиях молочной отрасли.

Научная новизна.

Обоснована концепция производства фитолактатного киселя с низким гликемическим индексом как элемента культурного кода России.

Доказана необходимость блокировки кальция в окрестностях казеиновых мицелл, обусловленная нестабильным реологическим поведением псиллиума в присутствии ионов кальция, путем барьерного взаимодействия с молекулами пектина.

Показано, что в системе топленое молоко-МГО-пектин вопреки представлениям отсутствует статистически значимое влияние пектина на титруемую кислотность, связанное с наличием в составе МГО компонентов, способных в сочетании с молоком и пектином проявлять себя в качестве кислот и оснований Льюиса.

Получена математическая зависимость критической массовой доли пектина от массовой доли МГО.

Расширена область знаний по формированию физико-химических, реологических и органолептических показателей поликомпонентных систем на молочной основе.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Полученные данные расширяют область знаний о процессах структурообразования в многокомпонентных полидисперсных системах на

молочной основе с учетом ионных взаимодействий. В работе решена проблема формирования киселеобразной консистенции в продукте на молочной основе с использованием альтернативных крахмалу и сахарозе компонентов.

Показана практическая применимость МГО в сочетании с пектином и псиллиумом при формировании киселеобразной консистенции продукта на молочной основе.

Разработаны технические условия на фитолактатный кисель, не содержащий крахмал и сахарозу, «Киселактис» (ТУ 10.51.56-112-00419785-2025).

Разработанный продукт может быть рекомендован для питания всех возрастных групп, в том числе в составе корректирующих рационов людей с вынужденно ограниченным потреблением сахарозы.

Методология работы базировалась на плане исследований, включенных в государственные задания по теме «Совершенствование методологических основ контроля качества процессов и продуктов технологий переработки молока с учетом глобальных изменений, концептуально трансформирующих традиционные основы питания» (шифр FNSS-2022-0004) и по теме «Развить принципы интегральных процессорных и методологических наукоемких решений для повышения эффективности и экологичности промышленных технологий переработки молока в условиях последовательного ряда переделов» (шифр FNSS-2025-0003).

В процессе проведения экспериментов задействованы стандартизованные и оригинальные методы исследований свойств молочных многокомпонентных систем, включая статистическую обработку полученных данных. Работа выполнена в ФГАНУ «ВНИМИ» на базе Лаборатории технологии молочных продуктов (до января 2026 года «Лаборатория биотехнологии молока и молочных продуктов»).

Положения, выносимые на защиту.

Закономерности формирования физико-химических и органолептических свойств поликомпонентных фитолактатных систем с низким гликемическим индексом в зависимости от природы и соотношения ингредиентов.

Математическая модель, основанная на теоретических и эмпирических данных, описывающая вклад каждого компонента на органолептические показатели многокомпонентной молочной системы.

Математическая зависимость критической массовой доли пектина от массовой доли МГО (регрессия со статистикой коэффициентов и всей зависимости в целом).

Степень достоверности. Планирование работы проведено с использованием собственного научно-методологического подхода, включающего детальное описание задач и разработку логично построенного плана эксперимента. Полученные результаты исследований неоднократно подвергались рецензированию со стороны научного сообщества при выполнении работ в рамках тематики лаборатории и публикации статей в периодических изданиях. Экспериментальные исследования выполнены с использованием современной материально-технической и приборной базы, а также комплекса стандартизованных и модифицированных методов анализа, адаптированных к решению поставленных научных задач. Применённый методический подход обеспечил высокую точность измерений и воспроизводимость экспериментальных данных. Надёжность и статистическая обоснованность полученных результатов подтверждены многократным (от трёх до пяти раз) воспроизведением экспериментальных процедур с последующей статистической обработкой массива данных с использованием табличного процессора Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation Inc., США) и программного обеспечения TableCurve 3D (Grafiti LLC Headquarters, США).

Полученный теоретический и экспериментальный материал в полном объеме опубликован в значимых рецензируемых изданиях.

Личный вклад автора. Исследования, приведенные в диссертационной работе, выполнены автором самостоятельно и представляют собой результат многолетней научной деятельности. Автором лично сформулирована исследовательская проблема, определена цель и спланированы задачи, разработана структура исследований. Теоретические и экспериментальные результаты исследований, изложенные в диссертации, получены, обработаны статистически и интерпретированы самим автором. Самостоятельно разработаны документы по стандартизации и техническая документация.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и получили одобрение на международных и всероссийских конференциях, конкурсах различного уровня: VI Международная научно-практическая молодежная конференция, посвященная памяти Р.Д. Поландовой 5 июня 2024 г. на базе ФГАНУ НИИ хлебопекарной промышленности (г. Москва), XIII Всероссийская (национальная) научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые инновации и биотехнологии» 21 апреля 2025 г. на базе ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет (г. Кемерово), X Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов» 03 апреля 2025 г. на базе ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА имени Н.В. Верещагина» (г. Вологда), VII Международная научно-практическая конференция «Передовые достижения науки в молочной отрасли» 23 октября 2025 г. на базе ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА имени Н.В. Верещагина» (г. Вологда), конкурс постерных докладов молодых ученых ФГАНУ «ВНИМИ», проводимый в рамках Заседания бюро Отделения сельскохозяйственных наук РАН на тему: «Направления прорывных исследований по достижению технологического лидерства в производстве пищевых продуктов» 28 ноября 2025 г.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ, в том числе 4 в журналах, входящих в перечень ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 132 страницах и включает введение, 3 главы, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы и приложения. Диссертация содержит 28 таблиц, 40 рисунков и 4 приложения. Список литературы включает 132 источника.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ

1.1 Актуальность и практическая значимость создания новых поликомпонентных напитков на молочной основе киселеобразной консистенции

Метаболические нарушения (МН) признаны одним из ключевых вызовов для системы здравоохранения ввиду их ведущей роли в патогенезе алиментарно-зависимых заболеваний. Эти состояния вносят значительный вклад в структуру общей и преждевременной смертности, включая население трудоспособного возраста, что определяет их социально-экономическую значимость. Максимальной клинической манифестацией данных расстройств является метаболический синдром, эпидемиологическая распространенность которого демонстрирует устойчивый рост в глобальных масштабах. Внедрение превентивных стратегий, в частности принципов персонализированной диетологии, рассматривается как перспективное направление для сдерживания данной негативной тенденции [1–4].

Большая часть больных с диагностированными МН имеют дисбаланс потребления микроэлементов [5–7] и повышенное потребление рафинированных углеводов [7–9], в том числе за счет частого употребления в питании сладких напитков (СН) и пищевых продуктов (ПП) [8, 9, 11, 16]. Альтернативой их применения может являться расширение ассортимента и возможность регулярного употребления в пищу продукции с пониженным содержанием сахара, либо без включения моно- и дисахаридов. В связи с этим, остается актуальным создание пищевых продуктов с низким гликемическим индексом, содержащих необходимый витаминный и минеральный состав [10]. Данные, полученные при изучении рациона жителей России в настоящий момент, свидетельствуют о том, что через текущую структуру потребления

пищи невозможно получить достаточное количество жизненно важных нутриентов, не увеличивая при этом ее общую калорийность [17–19].

Одним из перспективных продуктов в решении этой задачи может стать исконно русский кисель, не имеющий прямых аналогов за рубежом ни по названию, ни по технологии приготовления. Особенность киселя заключается в его универсальности: благодаря своим вкусовым и физическим свойствам, он может потребляться в качестве напитка в дополнение к приему пищи или заменять собой целое блюдо в ежедневном рационе. Обволакивающая гомогенная консистенция киселя оказывает благотворное влияние на желудочно-кишечный тракт и рекомендуется в лечебном и профилактическом питании. Разнообразная рецептура киселя с возможностью добавления разных компонентов для обогащения рациона витаминами, микроэлементами и пищевыми волокнами повышает привлекательность киселя для разных групп населения [20].

Следует отметить, что существующие технологии производства киселей на фруктово-ягодной и молочной основе, в рамках действующей нормативно-технической документации^{1,2}, допускают внесение значительных количеств сахаросодержащих компонентов. Это, в свою очередь, приводит к формированию высокого гликемической нагрузки готового продукта и снижает его диетологическую ценность. Кисель отнесен к категории сладких напитков, и рецептура разных видов киселя отличается только дополнительными добавками и компонентами. Фруктовые, ягодные и растительные компоненты определяют конечные вкусовые характеристики и полезные свойства готового продукта.

Всемирная Организация Здравоохранения выпустила рекомендации сократить потребление свободных сахаров [21]. Безопасным считается ежедневное потребление быстрых углеводов до 10% от своего суммарного энергопотребления. При этом дальнейшее сокращение до 5% (примерно 25г) в

¹ ГОСТ Р 56558-2015 Кисели питьевые фруктовые. Общие технические условия

² ГОСТ 18488-2000 Концентраты пищевые сладких блюд. Общие технические условия

день принесет дополнительную пользу для здоровья. Существующий ассортимент сладких киселей содержит 18-25 г углеводов в одной только порции готового продукта. Высокая доля легкоусвояемых углеводов в составе традиционных киселей обуславливает невозможность их включения для регулярного использования в диетотерапии при заболеваниях, сопровождающихся нарушением углеводного и липидного обмена, а также при патологиях сердечно-сосудистой системы.

Некоторые авторы приводят ряд положительных свойств крахмала в составе киселя, как ключевого компонента получения киселеобразной консистенции напитка. Способность абсорбировать ряд токсичных веществ, тормозить синтез вторичных желчных кислот, участвовать в стероидном обмене, снижая алиментарное поступления в организм, могут положительно влиять на организм человека [22]. Дополнительно описывается способность выводить мочевину в толстом отделе кишечника. Однако одновременное присутствие сахарозы в большом количестве, чтобы обеспечить привлекательные вкусовые свойства киселя, может иметь большее негативное значение, чем описанные «полезные» свойства крахмала.

Растворимые пищевые волокна могут играть большую роль в снижении усвоения глюкозы и алиментарного холестерина, улучшая моторно-эвакуаторную функцию толстой кишки, нормализуя микробную составляющую кишечника. Гипогликемический эффект растворимой фракции пищевых волокон, к примеру шелухи псиллиума, задействует другие механизмы, как увеличение времени движения содержимого по тонкому кишечнику, снижение эффективности пищеварительных ферментов, смещение образования в толстой кишке короткоцепочечных жирных кислот, подавляющих глюконеогенез в печени [23, 24].

Устойчивым трендом последнего десятилетия остается повышенный спрос на «здоровые» продукты, в том числе продукты и напитки с пониженным содержанием «быстрых углеводов» [13, 25]. Политика государства направлена как на ограничение «вредных» продуктов питания, так и поддержку

производителей здорового питания. Современное состояние продовольственного рынка характеризуется ограниченным ассортиментом продуктов с низким содержанием сахаров и оптимизированным микроэлементным и витаминным составом, ориентированных на ежедневное потребление. В этих условиях кисель, как хорошо узнаваемый и органолептически приемлемый продукт, обладает значительным потенциалом для реинтеграции в рацион современного потребителя за счёт модификации рецептурного состава и функциональной направленности, включая пациентов с МН [26].

1.2. Молочная основа как перспективная модель создания новых пищевых продуктов

Молочные продукты имеют особое значение для поддержания здоровья человека в разных возрастных группах, являются компонентом лечебно-профилактического питания. Разнообразный и сбалансированный состав коровьего молока позволяет получать макро- и микроэлементы, включая незаменимые аминокислоты, свободные жирные кислоты, витамины и минералы. Молочная основа делает возможным выработать продукты с высокой биологической ценностью [27–30]. Описаны защитные антиоксидантные свойства молока и молочных продуктов, которые крайне важны для профилактики метаболических нарушений. [31].

Компоненты молочной матрицы обладают уникальными физико-химическими и реологическими свойствами, которые могут быть использованы для создания новых пищевых продуктов с улучшенными питательными и органолептическими характеристиками. Одним из актуальных направлений исследований является изучение молочной основы в качестве инновационной платформы для новых пищевых продуктов. Физико-химические и реологические свойства молочной основы, учитывающих взаимодействие

молочных белков, жиров и углеводов, а также их влияние на текстуру и стабильность продуктов достаточно изучены [32–34]. Изучение реологических свойств молочной матрицы в условиях взаимодействия с натуральными функциональными компонентами под воздействием различных процессов, таких как нагревание, охлаждение и механическая обработка представляет научный интерес.

Взаимодействие молочной основы с функциональными компонентами, такими как орехоплодная мука, псиллиум, пектины может рассматриваться как потенциальная возможность создания новых пищевых систем с улучшенной пищевой ценностью [35]. Таким образом, глубокое понимание молочной основы и ее свойств в взаимодействии с натуральными компонентами могут стать основой для разработки новых высококачественных продуктов, которые отвечают современным потребительским требованиям и способствуют улучшению здоровья общества [36].

Физико-химические свойства молока (Таблица 1.1) играют важную роль в возможности его использования в пищевой промышленности и определяют не только качество, но и возможности этого продукта [37–39]. Молоко, являясь сложной многокомпонентной системой, состоит из воды, углеводов, жиров, белков, витаминов и минералов. Основную часть молока составляет вода (примерно 87%), что определяет многие его физические характеристики, такие как температура замерзания и кипения, а также вязкость и плотность. Лактоза, казеиновые белки, соли кальция имеют важное значение в управлении реологическими свойствами сложных пищевых систем и придания им гелеобразных и эмульсионных свойств. Нарушение солевого равновесия, особенно при избытке кальция, может приводить к снижению термоустойчивости и коагуляции белка [40].

Жиры в молоке представлены в виде мельчайших капель, формируют пространственную структуру и напрямую влияют на вязкость [41]. Динамическая вязкость молока линейно зависит от температуры. Однако, реологические свойства молока с низким содержанием жира имеют аномалии и

описываются уравнением Шведова-Бингама. Повышение жирности молока приводит к более выраженным неньютоновским свойствам: вязкость увеличивается при повышении скорости сдвига. Жировая фракция молока содержит также жирорастворимые витамины (А, D, Е, К), которые играют важнейшую благотворную роль в обмене веществ. Высокое содержание таких витаминов делает молоко ценным и необходимым элементом в рационе человека [42, 43]

Таблица 1.1 – Физико-химические свойства молока сырого и нормализованного молока

| Показатель | Молоко сырое |
|---|---------------|
| Массовая доля жира, % | 4,28±0,01 |
| Массовая доля белка, % | 2,99±0,003 |
| Массовая доля лактозы, % | 4,44±0,006 |
| Массовая доля солей, % | 0,70±0,001 |
| Массовая доля сухого молочного остатка, % | 12,49±0,02 |
| Массовая доля сухого обезжиренного молочного остатка, % | 8,15±0,012 |
| Плотность, кг/м ³ | 1027,05±0,043 |
| Активная кислотность (рН) | 6,61±0,01 |
| Окислительно-восстановительный потенциал, мВ | 63,01±0,01 |

Молочная промышленность на современном этапе развития располагает широким спектром технологий производства как моно-, так и многокомпонентных продуктов. Имеющиеся технологические решения позволяют включать в состав продуктов на молочной основе различные виды растительного и животного сырья, в том числе зерновые и крахмалосодержащие ингредиенты, плодово-ягодное сырьё, пищевые волокна, в том числе некрахмальные полисахариды, лекарственно-растительное сырьё, а также витаминно-минеральные премиксы. Следует отметить, что приоритет как потребителей, так и производителей отдается натуральным компонентам, позволяющим повысить биологическую ценность продукта [44–46].

Также стоит акцентировать, что взаимодействие молочной основы с другими ингредиентами, такими как загустители или стабилизаторы, может значительно влиять на реологические характеристики [47]. Например,

добавление крахмала, пектинов или карагинана может изменить вязкость и создает желаемую текстуру конечного продукта. Научный интерес представляет механизмы взаимодействия компонентов, в том числе гелеобразующих, в молочной матрице, чтобы добиться заданных свойств напитка и улучшить потребительские характеристики [48].

Молочный кисель является уникальным напитком, созданным на основе рецептуры традиционного русского киселя. Молочная основа, которая должна составлять более 50% от объема готового продукта [49], обладает полезными свойствами, так как содержит в составе необходимые организму витамины А, В1, В2, В5, РР, аминокислоты: лецитин, лизин, холин, триптофан, метионин. Благодаря высокой биологической ценности молочного киселя, обогащённого витаминами, микроэлементами и натуральными компонентами растительного происхождения, он может рассматриваться для включения в рацион работников вредных и опасных производств, студенческой среды и в рамки программ укрепления здоровья персонала на различных производствах.

Промышленное производство сладких киселей, в том числе на молочной основе, основано на использовании пищевых концентратов [50]. Сформирована и законодательно закреплена методология пищевого концентратной отрасли пищевой промышленности в отношении сладких напитков (кисели, муссы, желе), определены органолептические показатели, как степень густоты, однородности, прозрачность, содержания сахара и крахмала. Это, с одной стороны, дает четкое представление о таких напитках, понимания их качественных характеристиках и безопасности. С другой стороны, это затрудняет разработку новых видов несладких напитков, содержащих в своей рецептуре другие базовые компоненты рецептуры. Возникают сложности в определении как наименования, так и классификации новых продуктов [7].

Создание новых несладких пищевых продуктов с киселеобразной консистенцией на молочной основе требует осуществлять поиск и включение в рецептуру подходящих компонентов, которые обеспечат привычные органолептические и вкусовые характеристики. Перспективными

компонентами для создания несладкого молочного киселя могут являться продукты переработки бобовых и злаковых культур, ореховая мука и компоненты ее переработки, пищевые волокна различного происхождения, пробиотики. Однако, существуют объективные сложности получить привлекательные потребительские свойства при включении или замене сахаров и крахмала в рецептуре продукта. Все указанные компоненты уже широко используются в пищевой промышленности, но не рассматривались совместно для создания несладких напитков, в том числе на молочной основе [51–57].

При создании новых пищевых продуктов необходимо учитывать доступность компонентной базы и возможности регулярных поставок. Грецкий орех, и его компоненты, псиллиум производится на территории России и не имеют ограничений для использования в новых пищевых продуктах [58–60]. Однако, производства пектина в России в настоящий момент нет, но ограничений в поставках и использовании его в пищевой промышленности не отмечается [61].

1.3. Мука грецкого ореха как потенциальный компонент продуктов нового поколения

В пищевой промышленности грецкий орех (*Juglans regia*) достаточно изучен и широко используется. Рецептура многих национальных блюд в регионах, где произрастает дерево грецкого ореха, содержит различные компоненты этого растения. Пищевую ценность в первую очередь представляют плоды различной степени зрелости, ядро и его компоненты, в меньшей степени листья, кора, корни и околоплодники. Накоплен большой опыт использования грецкого ореха в кондитерском производстве. Различные компоненты грецкого ореха используются в хлебопекарной отрасли [62–64]. Представляет интерес использование грецкого ореха в разработке биодобавок, БАД, спредов, напитков и настоек [65].

Такое внимание к сырью из грецкого ореха определяет высокая пищевая ценность, лечебно-профилактические свойства и возможность использования отдельных компонентов переработки сырья. Сырьё, получаемое из различных морфологических частей грецкого ореха, характеризуется сложным и многообразным химическим составом, включающим эфирные масла, органические кислоты, алкалоиды, гликозиды, сапонины, кумарины, каротиноиды, водорастворимые витамины, фитонцидные вещества, фенольные соединения, дубильные вещества и микроэлементы. Такое разнообразие натуральных компонентов грецкого ореха напрямую влияют на органолептические, микробиологические, структурные и прочие свойства продуктов, в составе которого включается этот орех [66].

Ядра грецкого ореха содержат все основные макронутриенты: белки, жиры и углеводы (Таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Пищевая ценность ядер грецкого ореха

| Наименование показателя | Массовая доля, % на абсолютное сухое вещество | |
|-------------------------|---|-------------------|
| | среднее значение | пределы колебания |
| влага | 4,07 | 3,8 – 4,22 |
| белок | 16,49 | 16,2 – 17,05 |
| жир | 69,28 | 66,5 – 70,5 |
| углеводы | 12,27 | 11,1 – 13,2 |
| клетчатка | 6,3 | 6,2 – 6,75 |
| зола | 1,96 | 1,5 – 2,0 |

Ядра грецкого ореха молочной спелости характеризуются высоким содержанием протеина, массовая доля которого, по данным различных источников, варьирует в пределах 15,0-19,0%. Белковая фракция отличается полноценным аминокислотным составом и включает весь спектр незаменимых аминокислот, среди которых наибольшая доля приходится на валин, лейцин, изолейцин и триптофан. При этом лимитирующими аминокислотами являются треонин (аминокислотный скор 97%), метионин (85%) и лизин (67%). В составе заменимых аминокислот преобладают аспарагиновая (2300 мг на 100 г продукта) и глутаминовая кислоты (2760 мг на 100 г продукта), а также серин (930 мг на 100 г продукта) [67].

Большое количество белка позволяет рассматривать плоды грецкого ореха и продукты его переработки в качестве сырья для включения дополнительного источника протеина из растительного сырья. Включение небольшого количества ядер ореха (150-250 г ядер) позволяет обеспечить суточную потребность взрослого человека. Высокое содержание незаменимых аминокислот, как важная составляющая всех природных белков, дает дополнительное преимущество включения грецкого ореха как источника белка. Незаменимые аминокислоты играют крайне важную роль в синтезе и распаде протеина. Биологические функции отдельных аминокислот, в частности лейцина, обусловлены его участием в регуляции поддержания уровня глюкозы в крови, положительного азотистого баланса, необходимого для процессов белкового и углеводного обмена, а также в формировании и нормальном функционировании мышечной ткани [68, 69].

Углеводный компонент грецкого ореха представлен невысоким количеством и в среднем составляет до 14 г на 100 г продукта. Основную долю углеводов формируют пищевые волокна, включая клетчатку (27%) и пектиновые вещества (16%), тогда как моно- и дисахариды в среднем составляют до 8% и представлены в основном сахарозой. Данный углеводный профиль обуславливает низкий гликемический индекс плодов грецкого ореха, равный 15. Это позволяет широко включать его в рацион питания, а клетчатка замедляет усвоение сахаров, что помогает поддерживать стабильный уровень глюкозы в крови, снижать уровень холестерина и способствовать нормализации работы кишечника.

Липидная фракция грецкого ореха характеризуется высоким содержанием жиров, массовая доля которых находится в диапазоне 62,5–68,0 %, и отличается значительной биологической ценностью за счёт высокого уровня полиненасыщенных жирных кислот [70]. В составе масла грецкого ореха преобладают незаменимые ω -6 и ω -3 жирные кислоты, в частности линолевая кислота (44–55% от общего содержания жирных кислот), α -линоленовая (8–10%) и γ -линоленовая (5–7%). Кроме того, в липидной фракции присутствуют

фитостерины в концентрации 115–145 мг на 100 г продукта и фосфатидилэтаноламины и сфинголипиды (2,1–2,3%) (Таблица 1.3).

Ядра грецкого ореха, имеющие ценный жировой состав, являются причиной широкого спектра переработки, включая получение масла с вторичной переработкой жмыха [69]. Наибольшую ценность представляют зрелые или незрелые ядра грецкого ореха, являющиеся сырьем для производства ценного и дорогостоящего масла грецкого ореха. Полученный жмых грецкого ореха может быть подвергнут вторичной обработке с получением муки грецкого ореха. Жмых грецкого ореха сохраняет ценный белковый компонент, клетчатку и имеет умеренную калорийность по сравнению с цельными ядрами.

Таблица 1.3 – Жирно-кислотный состав масла грецкого ореха

| № | Наименование жирных кислот | Массовая доля, % |
|---|---------------------------------|------------------|
| 1 | Миристиновая C _{14:0} | 0,1 |
| 2 | Пальмитиновая C _{16:0} | 4,0 – 4,43 |
| 3 | Пальмитоловая C _{16:1} | 0,1 |
| 4 | Маргариновая C _{17:0} | 0,1 |
| 5 | Стеариновая C _{18:0} | 1,3 – 1,7 |
| 6 | Олеиновая C _{18:1} | 8,8 – 11,6 |
| 7 | Линолевая C _{18:2} | 45,0 – 76,0 |
| 8 | Линоленовая C _{18:3} | 7,5 – 16,5 |
| 9 | Арахидоновая C _{20:0} | 0,3 |

Мука грецкого ореха (МГО) представляет тонкодисперсный порошок желтого, светло-коричневого цвета, получаемого в качестве побочного продукта производства масла грецкого ореха методом холодного прессования, с последующей сушкой и помолом до мелкой фракции. МГО является полностью натуральным продуктом без посторонних включений, в том числе не содержит ароматических добавок [71, 72].

Химический и витаминно-минеральный состав МГО, также, как и ядра, указывает на высокую биологическую ценность (Таблица 1.4). Калорийность МГО может быть дополнительно скорректирована в снижении жирового компонента до получения жмыха. Жмых МГО рассматривается как перспективный компонент лечебно-профилактического питания, в том числе

при сердечно-сосудистых заболеваниях, атеросклерозе и состояниях, связанных с дефицитом витаминов и минеральных веществ. Высокое содержание пищевых волокон в МГО способствует нормализации моторно-эвакуаторной функции кишечника; при этом клетчатка, выступая в роли природного пребиотика, оказывает благоприятное влияние на микробиоценоз желудочно-кишечного тракта.

Таблица 1.4 – Пищевая ценность и компонентный состав МГО

| Название питательных веществ | Количество, г/100 г |
|---|---------------------|
| Массовая доля жира | 9,84 |
| Массовая доля клетчатки | 17,87 |
| Массовая доля золы | 24,83 |
| Массовая доля влаги | 8,87 |
| Массовая доля белка | 38,59 |
| В том числе незаменимые аминокислоты (мг/100г): | 21,57 |
| - лизин | 4,20 |
| - треонин | 3,67 |
| - валин | 4,21 |
| - метионин | 1,46 |
| - изолейцин | 2,35 |
| - лейцин | 5,68 |
| Остальные аминокислоты: | 17,02 |

Витаминный состав грецкого ореха характеризуется значительным содержанием токоферолов — от 23 до 31 мг на 100 г продукта, при этом до 85 % от их общего количества приходится на γ -токоферол. Токоферолы выполняют выраженную антиоксидантную функцию, замедляя процессы окисления липидов и способствуя увеличению сроков хранения орехового сырья. Существенный вклад в витаминную ценность продукта вносят водорастворимые витамины группы В (В₁, В₂, В₃, В₅ и В₆): содержание пиридоксина составляет 1,8–2,24 мг, тиамин — 0,9–1,1 мг, пантотеновой кислоты — 0,57–0,90 мг на 100 г продукта. Кроме того, грецкий орех отличается высоким уровнем фолиевой кислоты, концентрация которой варьирует от 177 до 215 мкг.

Минеральный состав МГО представлен значительным количеством широкого спектра микроэлементов, среди которых доминируют калий (1327–

1497 мг), фосфор (332–393 мг), кальций (249-280 мг), магний (126–189 мг). Также в составе присутствует железо (5,6-5,2 мг), марганец (4,4–5,3 мг) и цинк (5,9–7,1 мг) и до 1484 мкг меди на 100 г продукта. Отдельного внимания заслуживает наличие ценного микроэлемента – йода, концентрация которого составляет 8,6 мкг на 100 г орехов.

Как следует из данных, представленных в Таблице 1.5, мука грецкого ореха является значимым источником макро- и микроэлементов, в том числе фосфора, калия, цинка, марганца и меди. Минеральные вещества играют ключевую роль в обеспечении обменных и иммунных процессов, участвуют в регуляции ферментативной активности, синтезе гормонов, процессах кроветворения и формировании костной ткани.

Таблица 1.5 – Витаминный и минеральный состав МГО

| № пп | Наименование | Количество |
|---------------------------|--|------------|
| Минеральный состав | | |
| 1. | Калий, мг | 1327-1497 |
| 2. | Фосфор, мг | 332-393 |
| 3. | Кальций, мг | 249-280 |
| 4. | Магний, мг | 126-189 |
| 5. | Натрий, мг | 19,6 |
| 6. | Железо, мг | 5,6-5,2 |
| 7. | Марганец, мг | 4,4-5,3 |
| 8. | Цинк, мг | 5,9-7,1 |
| 9. | Медь, мкг | 1269-1484 |
| 10. | Йод, мкг | 8,6 |
| Витаминный состав | | |
| 11. | Витамин В ₁ (тиамин), мг | 0,9-1,1 |
| 12. | Витамин В ₂ (рибофлавин), мг | 0,3-0,336 |
| 13. | Витамин В ₉ (фолиевая кислота), мкг | 177-215 |
| 14. | Витамин РР (никотиновая кислота), мг | 11-13,44 |
| 15. | Витамин С (аскорбиновая кислота), мг | 6,85-16,24 |
| 16. | Витамин Е (альфа-токоферол), мг | 0,3-7,28 |
| 17. | Витамин А (β-каротин), мкг | 1,1-22,4 |

МГО представляет собой порошкообразный продукт тонкого помола, однородной консистенции, серого цвета с кремовым оттенком, обладающий характерным запахом, присущим ореховому сырью. Органолептические характеристики МГО могут варьироваться, но чаще описываются как имеющий

сладковатый вкус с легким вяжущим привкусом, также с нежным молочно-карамельным оттенком или сладковатым ореховым вкусом и ароматом.

Экспериментально рядом авторов отмечается хорошая сочетаемость МГО с молоком, молочными и кисломолочными продуктами. Внесение МГО приводит к улучшению органолептических характеристик. Вкус и запах становятся более "наполненными". Кисломолочный вкус и запах хорошо сочетаются с легкими ореховыми нотами, частицы муки грецкого ореха не ухудшают консистенцию. Следует отметить, что важно соблюдать дозировку МГО до 5% для сохранения лучших органолептических качеств [73].

Мука и жмых грецкого ореха широко применяется в хлебобулочном и кондитерском производстве для улучшения вкусовых и функциональных характеристик продукта [74, 75]. Однако, МГО не применяется широко в производстве напитков на молочной основе. Картофельный или кукурузный крахмал стал наиболее популярной основой для придания киселю желирующих свойств. Использование компонентов переработки орехов с целью получения желирующих свойств киселя применялось в традиционной рецептуре киселей, но не находило применение в промышленном производстве концентратов.

1.4. Псиллиум – перспективный структурообразователь пищевых систем

Псиллиум (лат. *psillium*) – обобщённое наименование несколько видов подорожника – подорожник овальный, подорожник блошной. В пищевой промышленности и кулинарии под этим термином принято обозначать шелуху семян этих растений или растёртую в муку шелуху. Реже сырьем для производства муки псиллиума служит перетертые целые семена. На территории России псиллиум произрастает только в Закавказье. Имея широкую географию произрастания в Иране, Афганистане, Средней Азии и Средиземноморском регионе, мировым центром промышленного производства является Индия. Псиллиум (виды *Plantago ovata* и *Plantago psyllium*) в промышленных

масштабах производится ради его клейкого вещества, которое представляет собой белое волокнистое вещество, имеющее гидрофильные характеристики. [76, 77].

Шелуха псиллиума представляет собой серо-коричневую муку, которая не имеет выраженного запаха и вкуса. Шелуха псиллиума получается путем удаления внешнего покрытия семян. Именно шелуха является предметом исследования, в связи этим в дальнейшем химический состав ядер не будет описываться детально. Существуют различные сорта шелухи псиллиума, градирующиеся на основе чистоты сырья, типа и способа обработки семян и технологических особенностей помола [78].

Химический состав шелухи псиллиума представлен в Таблице 1.6 [79]. Основным компонентом шелухи псиллиума является клетчатка: около 70% растворимой и 30% нерастворимой. Волокна псиллиума также содержат различные микронутриенты как цинк, марганец, медь, калий, магний и кальций (Таблица 1.7). Однако, содержание этих компонентов незначительное в рамках суточной потребности взрослого человека. Показатели калорийности псиллиума имеет широкий диапазон. В российских источниках в диапазоне от 60-120 ккал/100 г, в зарубежных до 200 ккал/100 г продукта [80].

Таблица 1.6 – Пищевая ценность шелухи псиллиума

| Наименование компонента | Массовая доля, % на абсолютное сухое вещество |
|-------------------------|---|
| влага | 4.9 ± 0.01 |
| белок | 3.9 ± 0.05 |
| жир | 1.2 ± 0.01 |
| углеводы | |
| - клетчатка | 20.23 ± 0.4 |
| зола | 4.1 ± 0.01 |

Как ранее отмечалось, псиллиум представляет собой смесь полисахаридов: гексозы, пентозы и уроновые кислоты. Оболочка псиллиума также имеет большое количество гемицеллюлозы, которая состоит из ксилановой основы, связанной с единицами рамнозы, арабинозы и галактуроновой кислоты (арабиноксиланы).

Таблица 1.7 – Минеральный состав шелухи псиллиума

| Наименование компонента | Количество |
|-------------------------|------------|
| Кальций, мг | 1,5 |
| Магний, мг | 0,15 |
| Фосфор, мг | 0,14 |
| Калий, мг | 8,5 |
| Натрий, мг | 0,64 |
| Сера, мг | 0,023 |

Семена состоят из растворимой фракции и нерастворимых полисахаридов, таких как целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин. Псиллиум представляет собой гидрофильный муциллоид и сильно разветвленный полисахарид арабиноксилан, состоящий из высокой способности удерживать воду и образовывать гели (Рисунок 1.1).

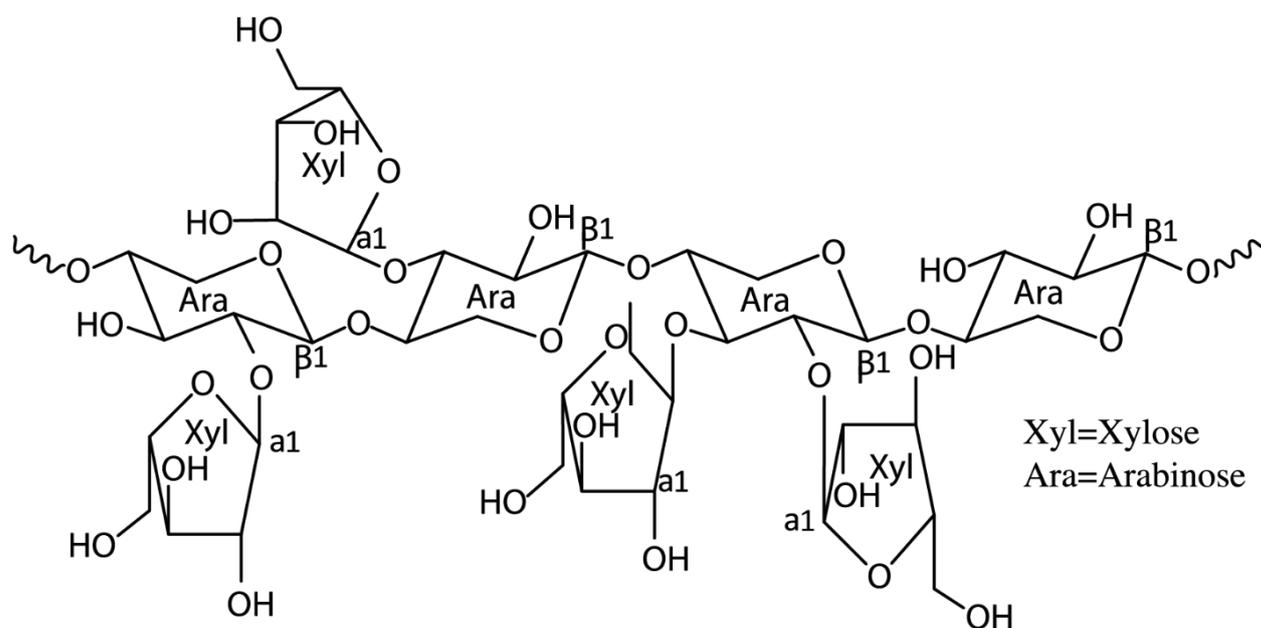


Рисунок 1.1 – Структура арабиноксилана

Гелеобразующая фракция полисахаридов состоит из ксилозы, арабинозы и других сахаров в следовых количествах. В основе данного полимера присутствуют как $\beta(1\rightarrow3)$, так и $\beta(1\rightarrow4)$ гликозидные связи [81].

Интерес к арабиноксиланам в последнее время возрос. Он рассматривается рядом авторов (Mendez-Encinas, Carvajal-Millan, Rascon-Chu,

Astiazaran-García, & Valencia-Rivera, 2018) как перспективный функциональный и биологический компонент для создания новых пищевых систем. К примеру, арабиноксилан обладает уникальной способностью образовывать ковалентные гели путем окислительного связывания феруловой кислоты. Благодаря ковалентной природе эти гели обладают хорошей способностью поглощать воду и стабильны по отношению к pH, температуре и ионным зарядам (Izydorczyk & Biliaderis, 1995). С другой стороны, в научной литературе описаны потенциальные преимущества включения в рацион питания арабиноксилана как противовоспалительного и антиканцерогенного средства. Пищевые продукты, содержащие арабиноксилан, помогают замедлить перекисное окисление липидов и последующий окислительный стресс (Herrera-Balandrano et al., 2018). Благодаря таким свойствам, данный компонент позволяет обоснованно применять как в терапии болезней желудочно-кишечного тракта, так и профилактических целях [82–84].

Гидроколлоиды, присутствующие в большом количестве в шелухе псиллиума, способны формировать вязкие дисперсные системы. Использование подобных гидроколлоидов открывает возможность добиться необходимой консистенции для кисломолочных изделий и обеспечить стабильность качества пищевой системы, устранить отделение сыворотки. Примером служат работы по разработке технологии приготовления йогурта с включением гидроколлоидных растительных соединений в количестве 2,0 и 2,5%. В экспериментах это позволило добиться значительного увеличения вязкости и плотности. Повышая привлекательность органолептических свойств продукта, было зафиксировано увеличение сроков хранения образцов. Исследователи связывают данный фактор со стабилизирующими свойствами гидроколлоида из псиллиума, который препятствует отделению сыворотки и, соответственно, увеличивает срок годности продукта [85, 86].

Сравнительный анализ гидроколлоида из псиллиума и из другого сырья, как бамбук и злаковые, на предмет их влияния на вязкоупругие и механические свойства, а также способность к связыванию, показал преимущества псиллиума.

Figuerola и Genovese доказали в эксперименте лучшую управляемость пищевой системой с псиллиумом, включая повышенную способность к гелеобразованию, устранению посторонних вкусовых компонентов. Псиллиум способен замедлять гелеобразование во время холодного хранения [87].

Псиллиум демонстрировал способность образовывать гели в концентрации от 1% до 7% массовой доли как с термической обработкой, так и без нее. Стабильность гелевой структуры различались, физико-химические свойства и условия гелеобразования напрямую зависели от концентрации псиллиума (Noguero1 и соавт., 2022). Выраженные гелеобразующие свойства наблюдались при концентрации псиллиума в исследуемой системе от 4% [88].

Zhou и др. в экспериментах показали дополнительную стабилизирующую роль полисахаридов, экстрагированных горячей водой из шелухи псиллиума. Удаляли фракции, растворимые в холодной воде, остаток псиллиума экстрагировали горячей водой с последующей депротеинизацией и сублимационной сушкой для получения препарата полисахарида псиллиума. Концентрация геля препарата псиллиума составляла в пищевой системе около 0,5% мас. доли. Полученной гель был способен быстро самовосстанавливаться и восстанавливать структуру геля в случае перемешивания [89, 90].

Ранее полисахариды, такие как крахмал, гидроколлоиды и пищевые волокна, рассматривались потенциальными заменителями жира для различных категорий продуктов с низким содержанием жира.

Сильная способность удерживать воду и свойство гелеобразования делают псиллиум, в частности, возможным подходящим агентом на замену жира в продуктах питания. В недавнем исследовании получены данные о функциональных свойствах микрочастиц волокон, содержащих псиллиум, которые могут быть использованы в качестве заменителя пальмового масла в ореховой пасте. Микрочастицы волокон смогли заменить 100% пальмового масла в ореховой пасте из лесного ореха, которая имела привлекательные органолептические свойства. Важен был размер частиц волокон до 10 мкм и меньше для получения желаемых функциональных возможностей. Авторы

сделали вывод, что растворимость, набухающая способность, водоудерживающая способность, вязкость раствора и стабильность эмульсии являются важными преимуществами для шелухи псиллиума и его смеси с другими волокнами в качестве заменителя жира. Таким образом, физико-химические свойства псиллиума позволяют его использовать его в виде заменителя жира в пищевых системах [91].

Крайне перспективными выделяются свойства шелухи псиллиума как стабилизатор эмульсии. Эмульсии типа «масло в воде» являются значимыми и распространенными структурными компонентами для многих пищевых систем, в том числе молока, молочных продуктов и напитков на молочной основе. Мука из шелухи псиллиума может выступать в качестве композитных эмульгаторов для систем эмульсий типа «масло в воде» и могут повышать вязкость и водоудерживающую способность непрерывной водной фазы, повышая стабильность эмульсии типа «масло в воде».

Гелеобразующее свойство псиллиума может повышать стабильность эмульсии пищевых продуктов во время термической обработки. Чистый порошок шелухи псиллиума (чистота 99,88%), содержащий 87,3% пищевых волокон и размер частиц 100 меш, был протестирован Fu и другими (2022) на способность стабилизировать эмульсии типа «масло в воде». Псиллиум в концентрации 0,3–0,6% оказывал значительное дозозависимое воздействие на внешний вид эмульсии, размер капель, индекс стабильности (оценка стабильности эмульсии по технологии Turbiscan), реологические свойства, поверхностное натяжение, микроструктуру под микроскопом и степень окисления 20% эмульсии соевого масла во время хранения. Результаты показали, что псиллиум может служить потенциальным эмульгатором для получения стабильных пищевых эмульсий типа «масло в воде» с уменьшенным размером капель и поверхностным натяжением, а также повышенной реологической и окислительной стабильностью [92].

Описанные свойства шелухи псиллиума могут представлять интерес при создании напитков на молочной основе. Способность псиллиума увеличивать

вязкость и образовывать прочный межфазный слой вокруг капель масла значительно повышает стабильность эмульсии. Однако эффективность псиллиума в качестве эмульгатора «масло в воде» может варьироваться в зависимости от содержания в нем растворимой клетчатки, молекулярной и химической структуры, а также общего отрицательного заряда, что требует изучения на конкретных пищевых системах на молочной основе [93].

Ряд исследований показали возможность использования псиллиума как заменителя глютена [94, 95]. Спрос на безглютеновую диету связан как невозможностью употребления глютена у больных с целиакией, так и некоторыми подходами в современной диетотерапии. Белки, полученные не из злаковых, в том числе молочный белок, могут служить заменителями глютена, обеспечивая вязкоупругую структуру теста, желаемую текстуру и стабильность при хранении, необходимые для выпечки и лапши. Псиллиум в концентрации 2% улучшил физические свойства теста. Результаты другого исследования также показали, что 0,5% и 1% псиллиума могут улучшить клейкость теста из муки твердых сортов пшеницы со слабой клейковиной. При 1% псиллиум улучшил растяжимость теста в экспериментальных условиях, показана возможная роль псиллиума в качестве заменителя глютена. Кисели и киселеподобные напитки, как продукты безглютеновой диеты, также могут в рецептурном составе иметь псиллиум для повышения органолептических свойств.

Модификация молекулярной и химической структуры псиллиума может изменить или улучшить физико-химические, функциональные и биологические свойства. При создании сложных пищевых систем, данные изменения позволяют управлять не только дозой псиллиума, но и отдельными свойствами. В настоящий момент описаны химические, ферментативные и физические методы изменения псиллиума.

Частичный гидролиз, как химический метод модификации, используется для изменения молекулярной структуры псиллиума с целью снижения гелеобразующей и водопоглощающей способности псиллиума [96]. Обработка

псиллиума раствором кислоты HCl в этаноле в концентрациях 0,36–4,50% в течение 1–5 дней при комнатной температуре снизила плотность и адгезивность гелей шелухи псиллиума. Данный метод обработки кислотой также уменьшил способность к набуханию и способность шелухи псиллиума связывать желчные кислоты. Объективная причина этих изменений заключается в уменьшении молекулярного размера или молекулярной массы полисахаридов посредством частичного гидролиза основной цепи полисахарида.

Сульфатирование способно изменять структуру поверхности псиллиума и увеличивать способность поглощать воду за счет создания дополнительных небольших ответвлений в молекулах полисахарида. Зарубежные коллеги проводили сульфатирование псиллиума путем химической реакции между шелухой псиллиума и SO₃-пиридином в диметилформамиде. Сульфатирование незначительно уменьшило или вообще не оказало никакого влияния на объем набухания псиллиума, снизило способность к гелеобразованию и вязкость раствора псиллиума. При этом был получен дополнительный биологический эффект: увеличение способности псиллиума связываться с желчными кислотами, особенно с холевой и хенодезоксихолевой кислотами. Данное свойство псиллиума ассоциировано с возможностью снижения уровня холестерина. Таким образом, введение небольших отрицательно заряженных ветвей в молекулы псиллиума является возможным подходом к улучшению физико-химических и функциональных свойств псиллиума без снижения его полезного для здоровья потенциала [97, 98].

Введение гидроксипропильных групп в молекулы шелухи псиллиума оказывает отрицательное влияние на гелеобразовывающую способность псиллиума.

В эксперименте гидроксипропилированный псиллиум с содержанием гидроксипропила 6,33%, 10,47%, 12,63% и 15,26%, полученный путем изменения концентрации щелочи и молярного соотношения пропиленоксида, демонстрировал двойственную природу. Более низкий уровень содержания гидроксипропила увеличивал объем набухания, тогда как более высокая степень

гидроксипропилирования значительно снижала способность набухания в зависимости от дозы. Авторы отмечали, что гидроксипропилирование не увеличивало способность псиллиума поглощать воду. Введение гидроксипропильных групп в молекулы шелухи псиллиума может быть применено для улучшения функциональных возможностей псиллиума и повышения полезных свойств [97].

Физическое воздействие на псиллиум также изучалось рядом ученых. В частности, применялось гамма-излучение на шелуху псиллиума. Водно-щелочерастворимые гелевые фракции псиллиума обрабатывались гамма-излучателем Co-60 дозами 5, 15, 25 и 50 кГр при комнатной температуре. С увеличением экспозиции гамма-облучения повышалась растворимость в воде как шелухи псиллиума, так ищелочерастворимой фракции. При дозе от 10 кГр гамма-облучение увеличивало низкомолекулярную водную фракцию псиллиума и уменьшало высокомолекулярную фракцию, что связано с разрешением крупных молекул псиллиума. С увеличением дозы облучения уменьшалась способность псиллиума к набуханию, снижалась прочность геля и связывающая способность с желчной кислотой и глюкозой. Таким образом, гамма-излучение может изменить функциональные свойства компонентов псиллиума, снизить тропность к связыванию с желчными кислотами и глюкозой [99].

Пищевые волокна псиллиума представляют собой гетерогенный комплекс, включающий три функциональные фракции, содержащие как растворимые, так и нерастворимые компоненты. Совокупность указанных фракций обуславливает выраженное физиологическое и лечебно-профилактическое действие при обменных нарушениях, метаболическом синдроме, а также при различных нарушениях функций желудочно-кишечного тракта. Наибольшую долю в составе пищевых волокон псиллиума (около 55%) образует фракция, обладающая высокой водосвязывающей способностью и способная к образованию вязкого гелеобразного субстрата, который частично подвергается ферментации под действием кишечной микрофлоры.

Нерастворимая фракция составляет около 30 % от общего содержания пищевых волокон и характеризуется устойчивостью к бактериальной ферментации. Основная физиологическая роль данной фракции заключается в увеличении объема кишечных масс и нормализации моторной активности и перистальтики кишечника. Оставшаяся часть пищевых волокон (около 15%) представлена ферментируемой фракцией, выполняющей пребиотическую функцию и служащей питательной средой для симбиотической микрофлоры кишечника. Кроме того, данная фракция способствует замедлению эвакуации пищевого комка из желудка в кишечник, что приводит к пролонгированию постпрандиального эффекта и более длительному ощущению насыщения [100, 101].

Подтвержденный факт содержания в псиллиуме пищевых волокон в большом количестве представляет научный и практический, в том числе в технологическом плане. Большая часть пищевых волокон псиллиума, являясь нерастворимыми в воде, обеспечивает структурирование жидких пищевых систем. Следовательно, используя псиллиум в рецептурах для желирования напитков на молочной основе, можно одновременно достичь их обогащения пищевыми волокнами [102].

Однако чрезвычайно сильные водопоглощающая и желирующая способности шелухи псиллиума в пищевых системах может негативно влиять на их текстуру и микроструктуру. Отрицательное влияние гидроколлоидов псиллиума на органолептику молочных продуктов можно будет минимизировать, предусмотрев применение более узких фракций псиллиума и подобрав под него молочную основу, способную обеспечить полноценный вкус и однородную консистенцию изделия. Это позволит расширить область его применения при разработке молочных продуктов, в том числе и для производства молочных десертов с длительным сроком годности [103, 104].

Псиллиум и растворимая клетчатка могут снизить усвоение кальция из пищи, включая молоко и молочные продукты. Однако исследования

показывают, что этот эффект минимален при соблюдении терапевтических доз приема псиллиума. Гелеобразующие свойства псиллиума могут влиять на скорость усвоения кальция, но общее усвоенное количество кальция изменяется несущественно. Польза псиллиума для здоровья часто перевешивает данный эффект, особенно в случаях, когда псиллиум употребляется как часть сбалансированной диеты [105].

Шелуха семян подорожника обеспечивает значительные питательные, функциональные и оздоровительные преимущества, что делает ее универсальным ингредиентом в пищевой промышленности и эффективным средством для переработки отходов. Высокое содержание растворимой клетчатки поддерживает здоровье пищеварительной системы, помогает контролировать уровень холестерина и сахара в крови, а также повышает качество пищевых продуктов. Кроме того, способность псиллиума действовать как естественный адсорбент подчеркивает его полезность [106–108].

Принимая во внимания положительные биологические свойства псиллиума, стоит отметить перспективные свойства для структурообразователя сложных пищевых систем на молочной основе. Псиллиум очевидно может выступать стабилизатором, эмульгатором при создании новых пищевых систем. Существенно влияние псиллиума на органолептические свойства продукта, возможность включения как в хлебобулочные, мясные продукты, так и в напитки. Научный интерес к псиллиуму только увеличивается, потенциал применения еще полностью не раскрыт.

1.5 Свойства пектина и его использование в молочных системах

Пектин (от греч. *pektos* – свернувшийся, замерзший) – относится к группе природных полисахаридов и получают его преимущественно методом гидролитико-экстракционного выделения из вторичных растительных сырьевых

ресурсов. Благодаря выраженным сорбционным и гелеобразующим свойствам пектины нашли широкое применение в пищевой промышленности, в том числе в качестве структурообразователей и функциональных ингредиентов. Пектиновые вещества входят в состав практически всех растений, и обладают широким спектром физиологической активности. Пектины могут выделяться из непищевых растений для дальнейшего использования в фармацевтической отрасли, и из пищевых растений, представляя собой важный компонент рациона человека. Пищевой пектин является ценным источником «пищевых волокон» как обязательный компонент ежедневного рациона человека [109].

В состав пектиновых веществ входит нерастворимый протопектин, растворимые пектиновые полисахариды и сопутствующие им галактаны, арабинаны и арабиногалактаны. Пектиновые полисахариды, являясь гликаногалактуронами, главная углеводная цепь которых составляет 1,4-связанные остатки α -D-галактопиранозы луроновой кислоты (Рисунок 1.2), где Me – метил или ион металла. Пектины включают в себя как составляющие компоненты нерастворимого протопектина, так и растворимые полисахариды соков растений [110, 111].

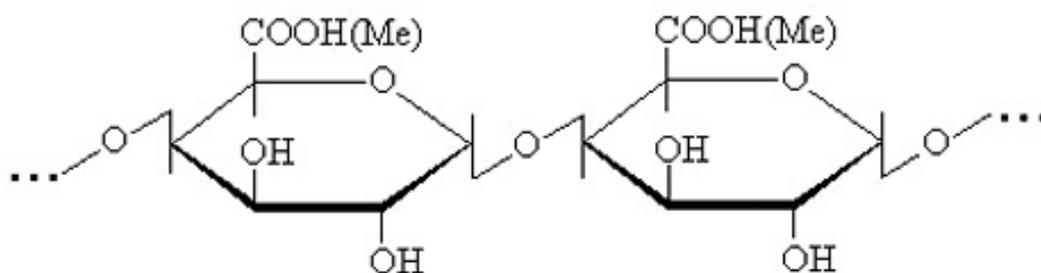


Рисунок 1.2 – Структура пектиновых полисахаридов

Единой классификации пектинов нет, так как его получают из широкого спектра сырья. Монокомпонентные пектины, выделяемые из одного вида растительного сырья, условно относят к группе классических пектинов. К данной категории относят цитрусовые, яблочные, свекловичные пектины, а также пектины из соцветий-корзинок подсолнечника, виноградных выжимок и других растительных источников. В пищевом производстве применяют и

специальные смеси пектинов, например, цитрусово-яблочные. Однако, значимой классификацией всех групп пектинов является выделение в группы по степени этерификации (Таблица 1.8).

Карбоксильные группы молекулы пектина могут быть свободными или естественным образом замещены (этерифицированы) метанолом. В случае, если соотношение метоксилированных и свободных карбоксильных групп превышает 50 %, то такие пектины являются высокоэтерифицированными. Если степень этерификации меньше 50 %, пектины относят к группе низкоэтерифицированных. В дополнение к метоксильным и карбоксильным группам, молекула пектина может включать некоторые другие функциональные группы, как ацетильные и амидные. НЭ-пектины, способные к образованию студнеобразных структур в присутствии ионов кальция вне зависимости от массовой доли сухих веществ в системе, получают путём контролируемой деэтерификации высокоэтерифицированных пектинов с использованием кислотных или щелочных реагентов. В случае применения аммиака в процессе деэтерификации в структуре пектиновой макромолекулы формируются амидные группы; такие пектины относят к амидированным. Амидированные пектины обладают способностью к студнеобразованию исключительно в присутствии ионов кальция, в связи с чем их выделяют в самостоятельную группу пектиновых веществ [112–114].

Функционально-технологические свойства пектина в значительной степени определяются степенью его этерификации. При этом механизмы гелеобразования у высокоэтерифицированных (ВЭ) и низкоэтерифицированных (НЭ) пектинов принципиально различаются. Двухвалентные катионы кальция являются обязательным условием формирования студенистой структуры с НЭ-пектинами и при невысоком содержании сахаров в системе менее 50 %. Это свойство обуславливает их широкое применение при стабилизации низкосахаристых и диетических пищевых продуктов. ВЭ-пектины, напротив, используются преимущественно для структурирования и стабилизации напитков и пищевых систем с высокой сахарной ёмкостью.

Таблица 1.8 – Классификация пектинов по степени этерификации

| ПЕКТИНЫ | | |
|---|---|--|
| <i>Низкоэтерифицированный</i> | <i>Высокоэтерифицированный</i> | <i>Амидированный</i> |
| <p>пектин (NH или LM) образует желе вне зависимости от кислотности ягод или сахара. Для образования желе ему необходимы ионы кальция. Это группа пектинов, которая работает с молочными продуктами, например, пектин FX58. Такие пектины работают в смесях с низким содержанием сухих веществ вроде сахара.</p> | <p>пектин (ВЭ или НМ) образует устойчивое желе при высокой кислотности смеси, низком уровне её рН (кислотном, ниже 5,5) и при высоком содержании сахара или других сухих веществ. Такой пектин быстрее растворяется в воде и быстрее желирует в смеси. Это самый обычный пектин, который чаще всего можно встретить в кондитерском разделе супермаркете, а также в составе промышленного зефира, пастилы и мармелада.</p> | <p>пектин (LMA, ii) — это низкоэтерифицированный пектин, особый вид пектина, который используют в широком диапазоне продуктов. Амидированные пектины образуют желе при небольшом содержании кальция, в смесях с нейтральным уровнем рН — около 7. Его часто используют для производства фруктовых начинок для йогуртов и термостабильных начинок. Желе на амидированном пектине очень устойчивое и не проседает.</p> |

Пектин обладает выраженными свойствами для гидрофильных коллоидов. При создании необходимых условий пектин способен к самоассоциации молекул, приводящей к образованию геля. В научной литературе широко представлены свойства пектина в качестве загустителя, стабилизатора и желирующего агента в различных продуктах. Процесс студнеобразования пектина основан на ассоциации макромолекулярных цепей с формированием пространственной трёхмерной сетки, в которой отдельные участки цепей сближаются с определённой регулярностью. Стабилизирующие и реологические характеристики пектиновых гелей зависят от совокупности факторов, включая активную кислотность среды, концентрацию ионов кальция и массовую долю пектина в составе пищевой матрицы [115, 116].

Молочные белки существенно усиливают желирующие свойства пектина. Ключевым механизмом проявления данных свойств служит тот факт, что пектин вступает во взаимодействие с основным белком молока – казеином, препятствуя его коагуляции при значениях рН ниже изоэлектрической точки и повышая термическую устойчивость белковой системы. Это позволяет применять режимы высокотемпературной пастеризации при производстве кисломолочных

продуктов с целью увеличения сроков их хранения. При отсутствии пектина в составе молочной системы происходит агрегация белков, сопровождающаяся образованием зернистой структуры и усилением процесса синерезиса.

Важным аспектом использования пектина при создании напитков на молочной и сывороточной основе является его способность к устойчивому комплексообразованию. Данный процесс обусловлен взаимодействием функциональных групп пектина (прежде всего карбоксильных) с ионами металлов, что приводит к формированию устойчивых ионно-связанных сывороточно-пектиновых гелей. Связывание ионов кальция и магния, присутствующих в молочной сыворотке, способствует развитию пространственной структуры геля. Экспериментальные исследования А.В. Крупина показали, что снижение концентрации ионов кальция и магния в сывороточно-пектиновой системе сопровождается увеличением прочности геля, подчёркивая факт того, что вклад кальция в данный процесс является преобладающим. Указанную закономерность необходимо учитывать при проектировании рецептур и прогнозировании процессов, влияющих на реологические свойства пищевой системы [117].

В молочной промышленности научный интерес представляет обратная взаимопротивоположная способность пектина быть как стабилизатором, так и дестабилизатором молочной матрицы. Дестабилизирующее свойство пектина, описанное авторами А. Н. Федосовым, М. В. Калединой, В. П. Витковской и др., позволяет добиться разделения молока на две однородные фракции без признаков коагуляции: сывороточно-полисахаридную (СПФ) и белковую либо белково-липидную фракцию (БЛФ) (при использовании жиросодержащего молочного сырья). Обе фракции обладают высокой биологической ценностью и являются прекрасной основой для разработки функциональных продуктов.

В рамках экспериментов продемонстрированы вышеописанные свойства пектина в узкой зоне концентрации 0,6-0,8% от массы сырья в пересчете на сухой пектин [113]. Данный эффект возможен при создании специальных условий: введение в виде водного раствора с целью равномерного

распределения в массе молока при перемешивании и фракционирования в стационарном режиме.

Исследования О.В. Скапец продемонстрировали оптимальное включение пектина с хитозаном на примере математической модели. Оптимальная массовая доля пектина была на уровне 0,43%. Экспериментальная проверка дозировок подтвердила эффективность разделений фракций при данных значениях [118].

При выборе конкретного вида пектина следует учитывать тип целевого продукта, особенности рецептурного состава, а также значения pH среды. Одним из ключевых технологических этапов при производстве функциональных пищевых продуктов с использованием пектина является его предварительное растворение, при котором необходимо предотвращать образование труднорастворимых агломератов. Сухие пектиновые препараты, как и другие гелеобразующие добавки, плохо растворяются в средах с высокой концентрацией сухих веществ. В связи с этим ВЭ-пектин рекомендуется растворять в воде с массовой долей сухих веществ не более 20 %. Наиболее эффективным способом гидратации и растворения пектина является использование высокоскоростного перемешивания в сочетании с оптимальными температурными режимами [119].

Пектины широко применяются в качестве функциональных добавок при производстве молочных продуктов, включая продукты детского питания, для которых, как правило, используют классический цитрусовый пектин. С применением пектинов выпускается широкий ассортимент молочной продукции, который условно можно подразделить на следующие группы: кисломолочные напитки и сметанные продукты; напитки прямого подкисления, в том числе с добавлением фруктовых соков, изготовленные на основе молока, молочной сыворотки или кисломолочной основы; термизированные молочные продукты длительного хранения; комбинированные масла [120].

Пектин широко применяется в производстве напитков зарубежом. Пектиновые вещества обладают выраженными сенсорными свойствами, такими

как увеличение вязкости, улучшение структуры, придают дополнительную полноту вкуса напитка. Технологически – обеспечивают стабилизацию коллоидной системы напитка. Кисломолочные напитки – йогуртовый, кефирный, сметанный продукт также могут включать пектин. Они имеют увеличенные сроки хранения и дополнительные функциональные свойства. Сочетание псиллиума и пектина имеет синергетический эффект при включении в структуру молочного напитка. Производство таких напитков с пектином очень актуально [121, 122].

Суммируя вышесказанное, использование пектинов в технологии пищевых продуктов открывает значительные перспективы для разработки новых видов функционального питания благодаря их многофункциональным технологическим свойствам и положительному физиологическому воздействию на здоровье человека [123].

1.6. Современное состояние рынка продуктов с мукой грецкого ореха на молочной основе

В настоящий момент орехи и сырье, получаемое из орехов, имеют широкое применение в пищевой промышленности, в том числе в составе напитков и растительных заменителей молока. Последние приобрели высокую популярность как компонент здорового питания или в случае невозможности употреблять молочные продукты в пищу [124].

МГО представлена на российском рынке как отдельный пищевой продукт. Интернет магазины по состоянию на 15.06.2025, как Wildberries, ozon.ru и Яндекс, указывают 26 производителей муки и жмыха грецкого ореха в разной фасовке от 0,1 до 5 кг. Производители производят муку разного помола (мелкий, средний и крупный) и сортов, что определяется технологическими возможностями и неоднородностью сырья. Потенциально данный продукт

предлагается употреблять в пищу в качестве добавки до 2-3 столовых ложек (25-30 г).

При все доступности грецкого ореха, как пищевого продукта, мука из грецкого ореха недостаточно широко представлена в пищевой промышленности. Анализ научно-технической литературы и практики промышленного применения показывает, что наибольшая степень внедрения МГО наблюдается в технологиях хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, где данный ингредиент используется преимущественно с целью повышения органолептических характеристик и биологической ценности готовой продукции. В отечественных и зарубежных источниках описаны технологические решения по производству хлебобулочных изделий на основе пшеничной и ржаной муки с частичной заменой основного сырья МГО; соответствующая продукция широко представлена на рынке Российской Федерации [125].

На российском продовольственном рынке также известны технологии применения МГО, как компонент, при производстве ацидофильных продуктов, характеризующихся улучшенными органолептическими показателями и расширенным функциональным профилем [126]. Однако, подобные разработки не представлены широко для потребителей.

В ряде работ приведены рецептуры и технологические подходы к использованию концентрата ядра грецкого ореха в составе начинок для вафельных изделий, обеспечивающих обогащение продукта незаменимыми аминокислотами, полисахаридами и полиненасыщенными жирными кислотами. Кроме того, внедрены в производство рецептуры затяжного печенья с включением МГО, отличающегося высоким уровнем протеинов и микронутриентов, в том числе железа, магния, калия, меди и фосфора.

Вместе с тем сегмент безалкогольных напитков с высоким содержанием углеводов характеризуется чрезвычайно широким ассортиментом и продолжает демонстрировать устойчивый рост как на российском, так и на мировом рынке, оказывая неблагоприятное влияние на структуру питания населения (Рисунок

1.3). В условиях сложившихся тенденций альтернативой потреблению высокосахаристых напитков является развитие и популяризация напитков с пониженным содержанием легкоусвояемых углеводов либо с их полным исключением. Современные рецептурные решения в данной категории предусматривают использование широкого спектра витаминных добавок, фруктового и овощного сырья (в том числе свёклы и сельдерея), экстрактов ягод и лекарственных растений, пищевых волокон, а также различных ароматизаторов и подсластителей. Однако, доля таких напитков на рынке составляет менее 1%.



Рисунок 1.3 – Тренды безалкогольных напитков [127].

В частности, инстантные напитки из сухих смесей представлены на рынке. Номенклатура таких напитков включает кофе и кофейные напитки, какао, кисели, смузи, коктейли и прочее. Однако, включение в состав компонентов грецкого ореха для изготовления напитка из сухой смеси представлено только одним наименованием: грецкий раф без сахара "Eleo", в состав которого входит: заменитель сухого молочного продукта (кукурузный сироп, кокосовое масло, казеинат натрия, калия фосфаты), мука из ореха грецкого, цикорий, ванилин (ароматизатор идентичный натуральному) [128]. Если рассмотреть

возможность покупки пакетированного готового напитка, то на рынке доступен ореховый напиток Borges Natura Грецкий Орех 1л., в составе которого включено 5% грецкого ореха [129].

Доля киселей, содержащих продукты переработки молока и его компоненты, в общем объёме продаж безалкогольных напитков остаётся крайне незначительной и не превышает 1 %. На отечественном рынке основным производителем данной категории продукции является предприятие, выпускающее кисели под торговой маркой «Золотое утро», ассортимент которого представлен тремя наименованиями. Все виды быстрорастворимых киселей на молочной основе характеризуются идентичным рецептурным составом, включающим белый сахар, сухое цельное молоко, картофельный крахмал, сухой клубничный сок, пищевую соль, а также комплекс пищевых добавок, в том числе загустители (мальтодекстрин, модифицированный картофельный крахмал), ароматизаторы и пищевые красители.

Анализ ассортимента быстрорастворимых молочных киселей, представленных на российском рынке, показывает практически полное отсутствие в их составе орехового сырья и продуктов его переработки. Исключение составляет продукция производителя «АлтайПлод» — кисель «Клубничное настроение», содержащий кедровые орехи и экстракт стевии. Данный продукт не включает добавленный сахар, однако его рецептура основана на использовании крахмала в качестве основного структурообразующего компонента и дополнена сушёной измельчённой клубникой, мукой кедрового ореха, экстрактом стевии, подсластителем MultiDex Sun Premium и яблочным пектином.

В настоящее время ассортимент сухих молочных киселей на рынке Российской Федерации остаётся крайне ограниченным при наличии устойчивого потребительского спроса на данный вид продукции. Особо следует отметить дефицит сухих киселей, не содержащих сахар и другие источники «быстрых» углеводов. Сегмент так называемых «несладких киселей» с выраженными и привлекательными вкусоароматическими характеристиками на

рынке фактически отсутствует. Поиск киселеобразных напитков с использованием МГО в зарубежных источниках и рынках не привел к положительному результату.

Другие виды орехов также включаются в рецептуру молочно-растительных напитков. Экстракт фундука использовался в качестве орехового компонента и прошел оценку органолептических свойств [130]. Подобные напитки также являются редкими на рынке и имеют ограничения доступности для населения.

Проведённый анализ ассортимента безалкогольных напитков свидетельствует о низком уровне обеспеченности населения продуктами с пониженной энергетической ценностью и оптимизированным соотношением макро- и микронутриентов. Орехи и продукты их переработки крайне ограниченно представлены в номенклатуре напитков, а киселеобразные напитки на молочной основе с добавлением ореховой муки и пищевых волокон не выявлены ни на российском рынке, ни в зарубежных источниках. Результаты проведённого поиска и оценки состояния рынка подтверждают актуальность и целесообразность разработки новых рецептов и технологий промышленного производства функциональных пищевых продуктов, включая напитки с улучшенными потребительскими свойствами и возможностью использования муки грецкого ореха в качестве биологически ценного ингредиента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ К ОБЗОРУ ЛИТЕРАТУРЫ

В данном литературном обзоре были рассмотрены актуальность и практическая значимость создания поликомпонентных продуктов с низким гликемическим индексом на молочной основе. Исследование молочной основы, ее реологических свойств в условиях взаимодействия с натуральными растительными компонентами под воздействием различных процессов, таких

как нагревание, охлаждение и механическая обработка представляет научный интерес. Молочная матрица имеет широкую вариативность взаимодействия с функциональными компонентами, такими как орехоплодная мука, псиллиум, пектины. Выявление данных закономерностей несет потенциальные возможности для создания новых пищевых систем с улучшенной пищевой ценностью.

Отечественные и зарубежные исследования показывают перспективность включения ореховой муки, в частности МГО, как потенциального компонента продуктов нового поколения. Уникальные органолептические и физико-химические свойства уже нашли промышленное применение в хлебобулочном и кондитерском производстве, но крайне ограничены в производстве напитков. Целлюлоза как здоровых людей, так и находящихся на специальной диетотерапии.

В настоящий момент актуализируются научные и практические данные о применении псиллиума как перспективного структурообразователя пищевых систем. Научные эксперименты показывают возможности применения шелухи псиллиума в качестве гелеобразующего, стабилизирующего компонента.

Выявлено, что сложные пищевые системы на молочной основе, с включением МГО, псиллиума и пектина имеют ряд особенностей при взаимодействии и требуют изучения. В то же время, обнаружена крайне высокая зависимость объема включения каждого из компонентов в пищевую систему. Данные закономерности требуют изучения и значимо влияют на органолептические свойства готового продукта, и как следствие, на потребительскую привлекательность.

Обзор выявил недостаток данных в отечественных источниках о применении МГО и псиллиума в молочной промышленности. Полученные результаты и новые малоизученные данные подчеркивают необходимость дальнейших исследований в области поликомпонентных пищевых систем, что, в свою очередь, позволит разработать рецептуру новых киселеобразных напитков на молочной основе без добавления сахара, при этом обладающих привлекательными потребительскими свойствами.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Теоретические и экспериментальные исследования были выполнены в научно-исследовательских лабораториях ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (Лаборатория технологии молочных продуктов (до января 2026 года «Лаборатория биотехнологии молока и молочных продуктов»). На Рисунке 2.1. приведена схема проведения исследований.

2.1 Объекты исследований

Объектами исследований на разных этапах работы являлись модельные и реальные системы «молоко-МГО», «молоко-пектин», «молоко-псиллиум», «молоко-пектин-МГО», «молоко-МГО-пектин-псиллиум» с различными концентрациями пектина, МГО и псиллиума, фитолактатный кисель.

Для приготовления и изучения модельных систем «молоко-пектин-МГО» использовали следующее сырьё:

- молоко обезжиренное сухое по ГОСТ 33629 (ПАО Молочный Комбинат «Воронежский», Россия);
- молоко топленое «Станция Молочная» по ГОСТ 31450-2013 (АО «Верховский молочно-консервный завод», Россия);
- обезжиренная мука грецкого ореха с массовой долей белка 15,0 %, массовой долей жира 18,0 %, массовой долей углеводов 3,0 % по ТУ 10.6.1.22-083-0176015736-2020 (промышленная компания «Народная Здрава», Россия);
- низкоэтерифицированный амидированный пектин марки APC201Y со степенью этерификации (27±3) %, степенью амидирования (22±3) % («DSM Andre Pectin», Китай);

– псиллиум (отруби из семян подорожника) по ТУ 10.89.19-037-33823998-2020 (ООО «ОРГТИУМ ПЛЮС», Россия).

2.2 Методы исследований

При выполнении работы применялись стандартизованные методы, используемые при контроле физико-химических и органолептических характеристик молока и молочной продукции.

В полученных образцах напитка определение массовой доли жира проводили по ГОСТ 5867-90, массовой доли белка методом Кьельдаля по ГОСТ 34454-2018 (ГОСТ 23327-98), массовой доли сухих веществ (влаги) по ГОСТ 3626-73, массовой доли углеводов по ГОСТ Р 547600-2011.

Активную кислотность в модельных системах и образцах напитка определяли потенциометрическим методом с помощью рН-метра inoLab (WTW, Германия) с комбинированным стеклянным электродом WTW SenTix 81 согласно ГОСТ 32892-2014. Титруемую кислотность в модельных системах определяли по ГОСТ 3624-92.

Оценку органолептических показателей напитка проводили по ГОСТ ISO 4121-2016 по однополярной интервальной числовой шкале от 0 до 5 баллов по методике условного профилирования.

При установлении рекомендуемых сроков годности готового напитка микробиологические показатели определяли по ГОСТ 31747-2012 (бактерии группы кишечных палочек); *Staphylococcus aureus* по ГОСТ 30347-2016; патогенных микроорганизмов, в том числе *Salmonella* по ГОСТ 31659; *Listeria monocytogenes* по ГОСТ 32031-2022; количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов – по 10444.15-94.

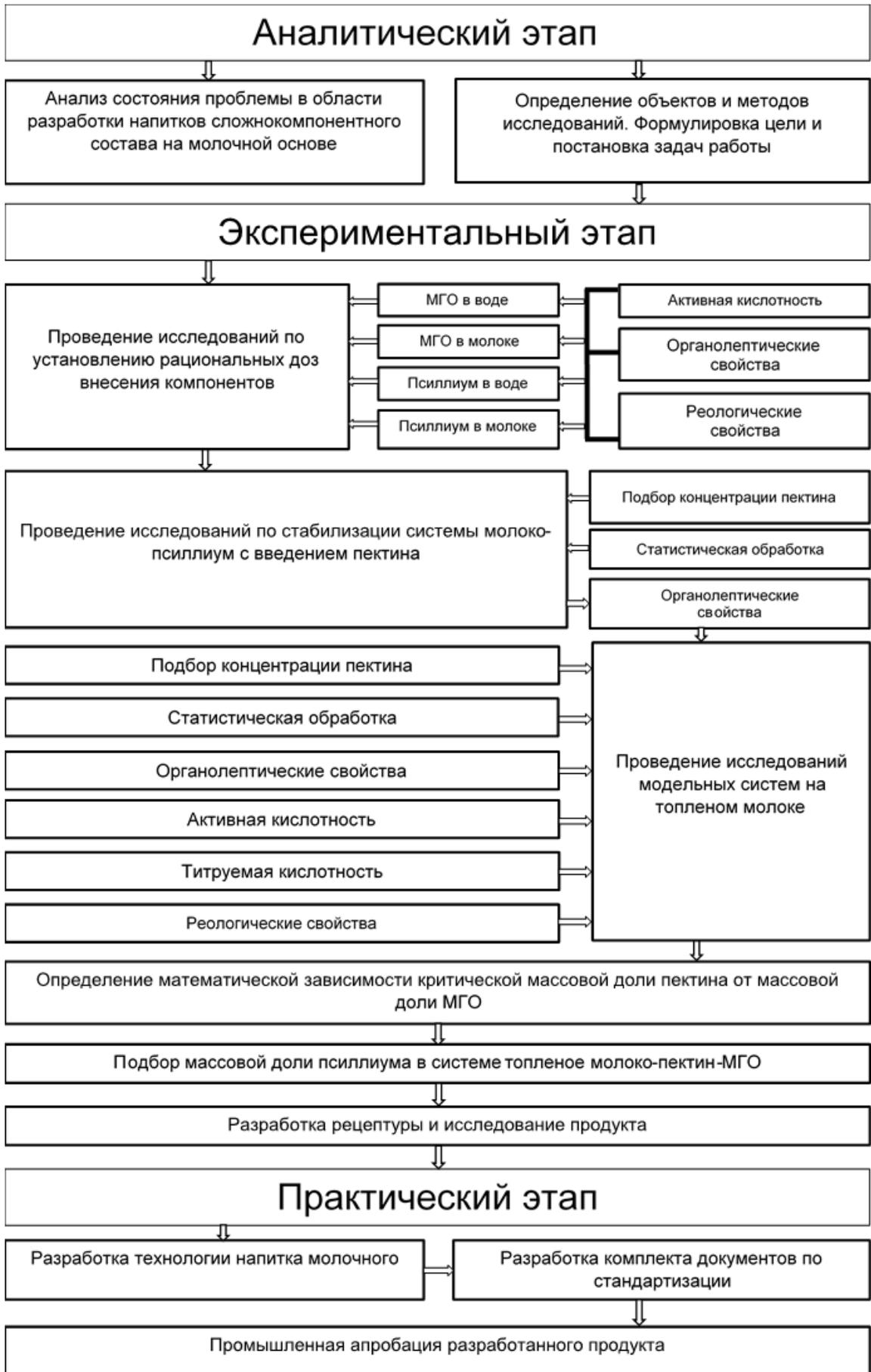


Рисунок 2.1 – Схема проведения исследований

Динамическую вязкость продукта определяли с применением ротационного вискозиметра Брукфильда DV-II+Pro (Brookfield Engineering Labs Inc., USA) с концентрическими цилиндрами (шпиндель SC4-21) при температуре (20 ± 2) °С.

Процедура исследования: процедура исследования состояла из двух последовательных этапов, а именно приготовление модельных систем и их исследование. Всего было подготовлено более 100 модельных систем «молоко-пектин-МГО» не менее чем в трехкратной повторности. Их состав рассчитывали так, чтобы массовая доля топленного молока была 50 %, массовая доля пектина – от 0,1 до 1,0 % с шагом 0,1, массовая доля МГО – от 1,0 до 10,0 % с шагом 1,0. Объем до 100 % доводили дистиллированной водой. Приготовленные модельные системы оставляли на хранение в течение 24 часов при температуре (4 ± 2) °С. Далее определяли их активную и титруемую кислотность и органолептические показатели. Все эксперименты проводили в трехкратной повторности.

Приготовление модельных систем: необходимое количество компонентов отвешивали согласно рецептуре, далее в термостойкий стакан помещали пектин, добавляли по каплям 0,5 мл этилового спирта крепостью 96,0 %об., доливали предварительно нагретую до 60 °С дистиллированную воду при непрерывном перемешивании и выдерживали при этой температуре 30 мин на водяной бане Stegler WB-6 (Shanghai Jingke Scientific Instrument Co., Ltd; Китай) при температуре 60 °С. Затем раствор пектина охлаждали до 40 °С и при непрерывном перемешивании добавляли пастеризованное топленое молоко с такой же температурой. Смесь выдерживали на водяной бане 30 мин при температуре 40 °С. Далее в смесь добавляли заданное рецептурой количество МГО при непрерывном перемешивании до образования гомогенной дисперсной структуры, после чего полученную систему выдерживали 30 мин при температуре 40 °С и охлаждали до комнатной температуры.

Оптимизация внутрикомпонентного состава молочной полидисперсной системы.

С целью определения оптимального внутрикомпонентного соотношения в молочной полидисперсной системе для количественной обработки результатов комплексной органолептической оценки была использована классическая функция желательности Харрингтона. Для определения значений данной функции в экспериментальных точках был использован ее монотонный вариант, имеющий вид (1), а для определения коэффициентов данных функции она предварительно была преобразована посредством двойного логарифмирования в вид (2):

$$d = \exp(-\exp(-(a + b * x))), \quad (1)$$

$$-\ln(-\ln(d)) = a + b * x, \quad (2)$$

где d – частная функция желательности Харрингтона; a, b – коэффициенты, x – балльное значение оценки.

Для вычисления коэффициентов в этом случае минимальным и при этом исчерпывающим условием является задание двух точек соответственно значения их логарифмированного значения d . В качестве пороговых значений частных функций желательности были заданы параметры $d_0 = 0,367879$ и $d_1 = 0,8001$, соответствующие нижней границе приемлемости (3,5 балла) и уровню оценки «очень хорошо» (4,0 балла) соответственно.

Все результаты представлены по данным трех независимых экспериментов. Результаты представляли как среднее значение. Для обработки полученных данных и построения графиков использовали стандартные статистические методы на базе табличного процессора Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation Inc., США) и программного обеспечения TableCurve 3D (Grafiti LLC Headquarters, США).

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Установление рациональной дозы внесения муки грецкого ореха в водных растворах

Задачей данного этапа работы являлось определение рациональной концентрации муки грецкого ореха (МГО) в интервале концентраций от 2,5 % до 7,5 %. Проведённый ранее эксперимент по внесению в систему 10,0 % (данная концентрация использована по рекомендации изготовителя) показал, что для разработки продукта по консистенции аналогичного киселю такое количество МГО является избыточным. Консистенция получилась комковатая и слишком густая. Дальнейшие исследования направлены на определение рациональной концентрации МГО в модельной системе.

На первом этапе были исследованы три концентрации ореховой муки: 2,5 % (образец 1); 5,0 % (образец 2); 7,5 (образец 3) %. Модельные системы готовили следующим образом: к 97,5 г воды добавляли вышеуказанное количество муки, перемешивали при комнатной температуре при помощи бытового блендера при максимальной интенсивности в течение 10 минут. Далее смесь (все 3 концентрации одинаково) делили на 2 равные части. Одну часть пастеризовали при температуре 90 °С в течение 5 минут, другую в течение 10 минут для оценки влияния продолжительности обработки на потенциальную растворимость муки. Также была проведена визуальная оценка до термообработки (Рисунок 3.1).

Как видно из Рисунка 3.1 независимо от использованной концентрации МГО практически сразу оседает на дно. При этом происходит окрашивание в желтовато-коричневый цвет за счёт присутствия в составе муки β -каротина и хинонов.

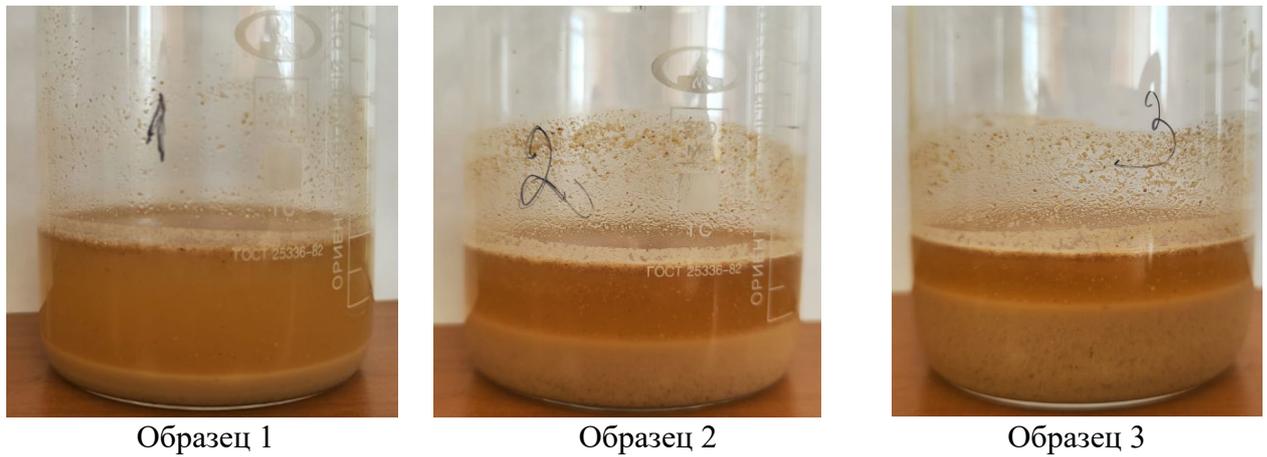


Рисунок 3.1 – Модельные системы с ореховой мукой до термообработки и перемешивания

На следующем этапе образцы с различной концентрацией ореховой муки были перемешаны (Рисунок 3.2). Образец с наименьшей концентрацией муки отличался более светлым цветом.

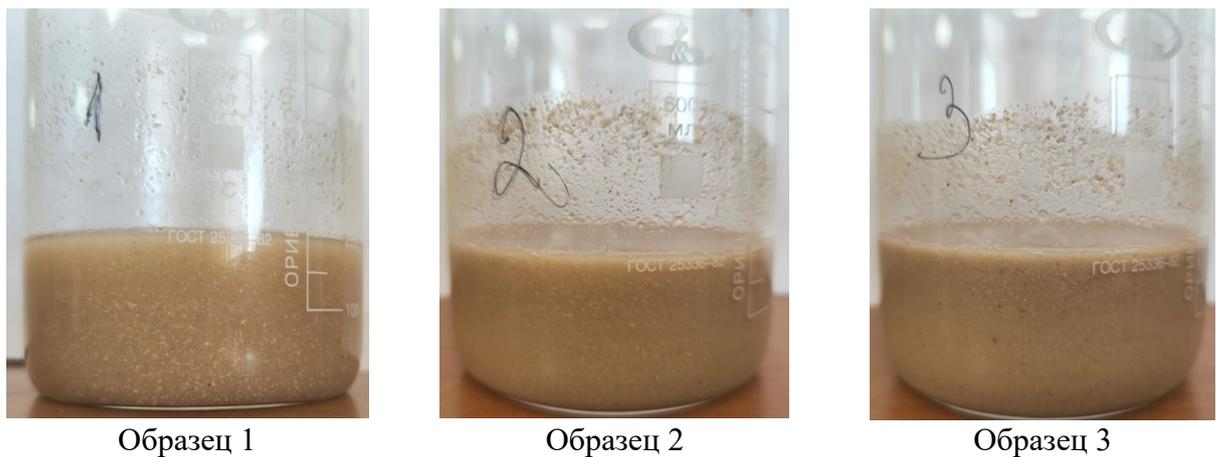
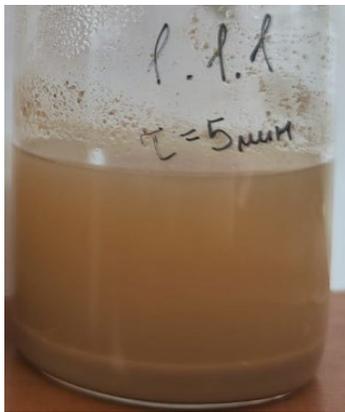


Рисунок 3.2 – Модельные системы с ореховой мукой до термической обработки, после перемешивания

Все приготовленные смеси представляли из себя неустойчивую суспензию, склонную к медленной седиментации. Однако, в отличие от образцов без перемешивания видимое формирование осадка начиналось по истечении ~ 15 минут после перемешивания, и в процессе наблюдения за смесями отмечено, что полностью осадок не сформировался. Часть ореховой муки диспергируется из-за содержащихся в ней растительных гидроколлоидов. Также стоит отметить, что образцы с содержанием МГО 5,0 и 7,5 % визуально

не сильно отличались по вязкости. Органолептическая оценка образцов показала, что наилучшим из всех по вкусу, запаху был образец с концентрацией муки 5%.

На Рисунках 3.3 и 3.4 представлены модельные системы после термообработки в течение 5 и 10 минут, соответственно. Анализ полученных результатов показал, что продолжительность термообработки не оказывает влияния на текстуру. Как при обработке в течение как 5, так и 10 минут во всех образцах отмечено чёткое расслоение, объем осадка прямо пропорционален концентрации муки. При перемешивании термически обработанных образцов повторное осаждение частиц муки наблюдалось по прохождении 1 минуты.



Образец 1.1



Образец 2.1



Образец 3.1

Рисунок 3.3 – Модельные системы с ореховой мукой после 5 мин термообработки

Модельные системы на воде после термообработки имели более светлый оттенок, что может быть связано с частичным разрушением β -каротина и хинона при термической обработке. Причём с увеличением продолжительности термообработки визуально определяемая интенсивность цвета снижалась.

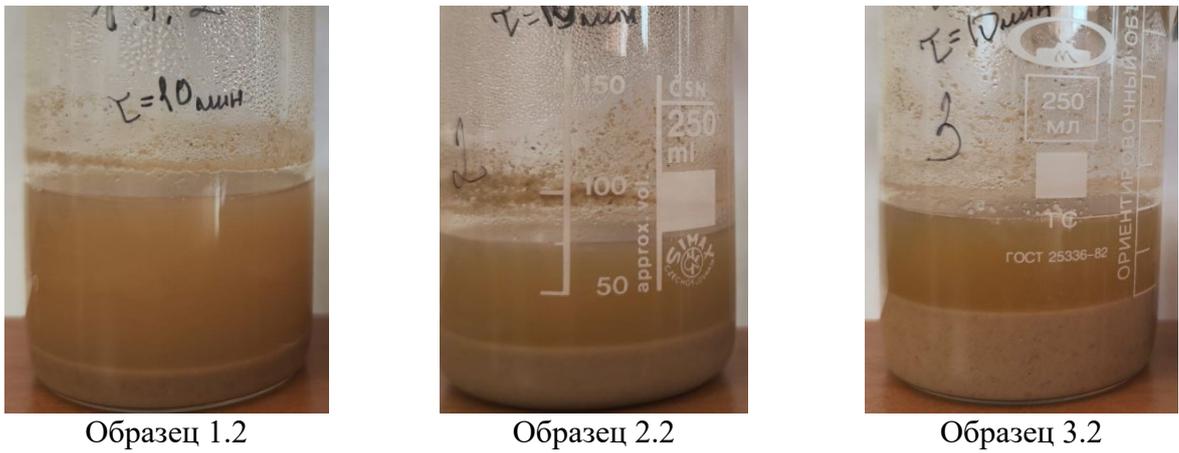


Рисунок 3.4 – Модельные системы с ореховой мукой после 10 мин термообработки

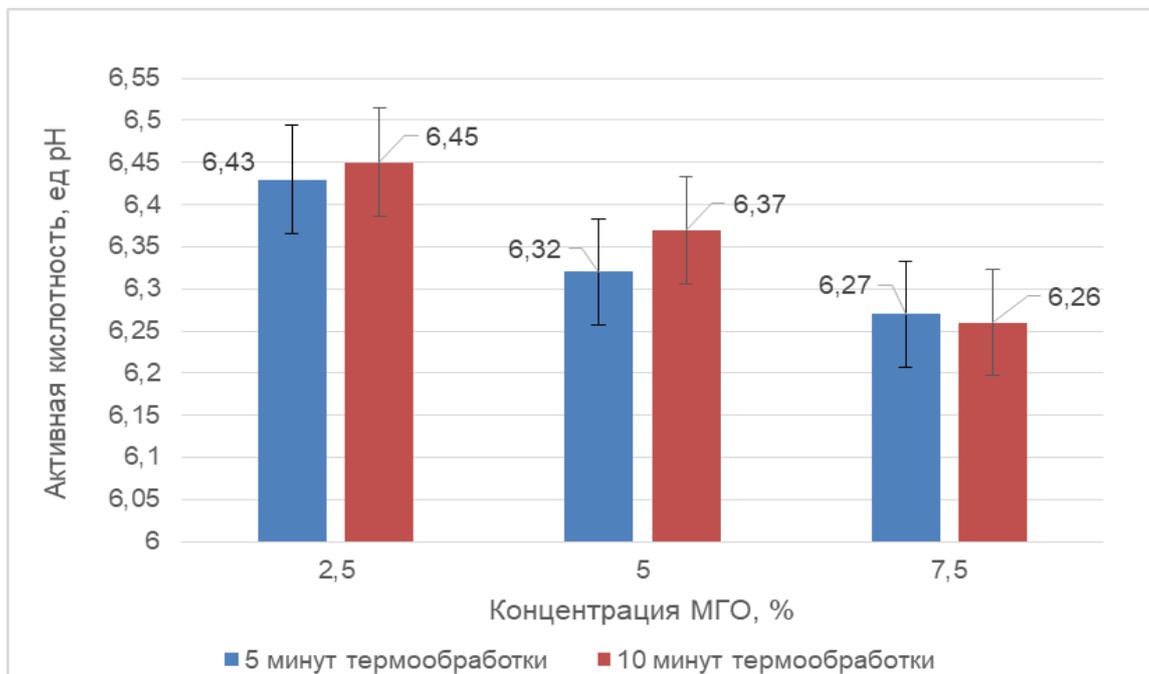


Рисунок 3.5 – Активная кислотность образцов с различной продолжительностью термообработки

На Рисунке 3.5 представлены величины активной кислотности образцов с различной концентрацией МГО при различной продолжительности термообработки. Анализ данных активной кислотности образцов с различной продолжительностью термообработки показал, что как концентрация, так и продолжительность термообработки не оказывают влияния на значение рН системы.

3.2 Проведение исследований по установлению рациональной дозы внесения муки грецкого ореха в молоко

Далее проводились исследования по отработке рациональных концентраций на молочных системах по аналогичному принципу. На Рисунке 3.6 представлен внешний вид образцов с различной массовой долей МГО.

Образцы молочных суспензий с различными массовыми долями МГО принимали светло-коричневый цвет, что является следствием перехода в дисперсионную среду модельных систем из муки грецкого ореха β -каротина и хинонов. При этом имела место тенденция, аналогичная представленной на Рисунке 3.4. В отличие от модельных систем на воде, седиментация проходила в ~ 2 раза медленнее, это можно объяснить бóльшей плотностью молока по сравнению с водой.

Также как в случае с модельными системами на воде продолжительность термообработки не оказала влияния на органолептические показатели (Рисунки 3.7 и 3.8). Исключение составил показатель «цвет», что связано, как и в случае с модельными системами на воде с частичной деструкцией красящих соединений.

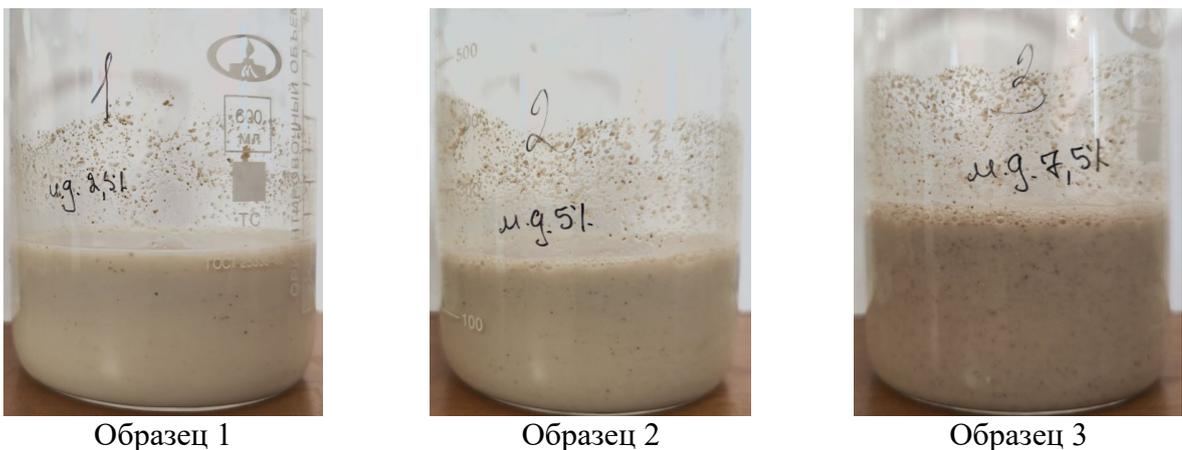
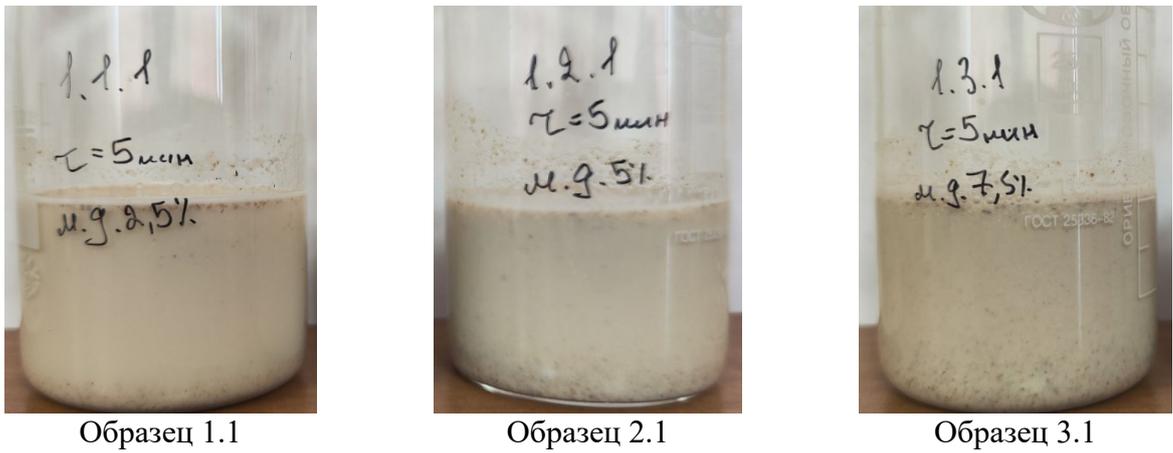


Рисунок 3.6 – Модельные системы на молоке до термообработки



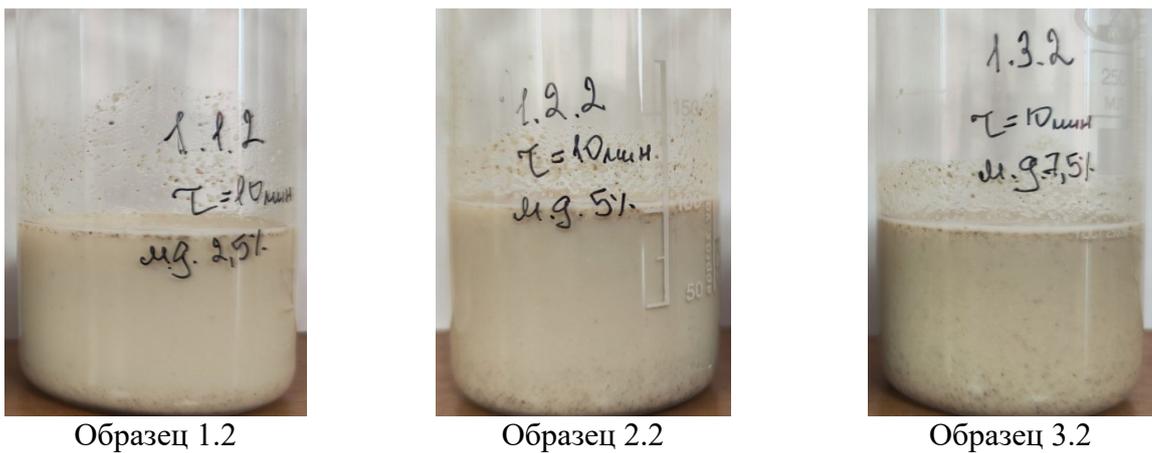
Образец 1.1

Образец 2.1

Образец 3.1

Рисунок 3.7 – Модельные системы на молоке после 5 мин термообработки

Активная кислотность образцов с максимальным внесением МГО, приготовленных на воде, ниже, чем рН, приготовленных на молоке, что может быть связано с высокой буферной ёмкостью молока (Рисунок 3.9).



Образец 1.2

Образец 2.2

Образец 3.2

Рисунок 3.8 – Модельные системы на молоке после 10 мин термообработки

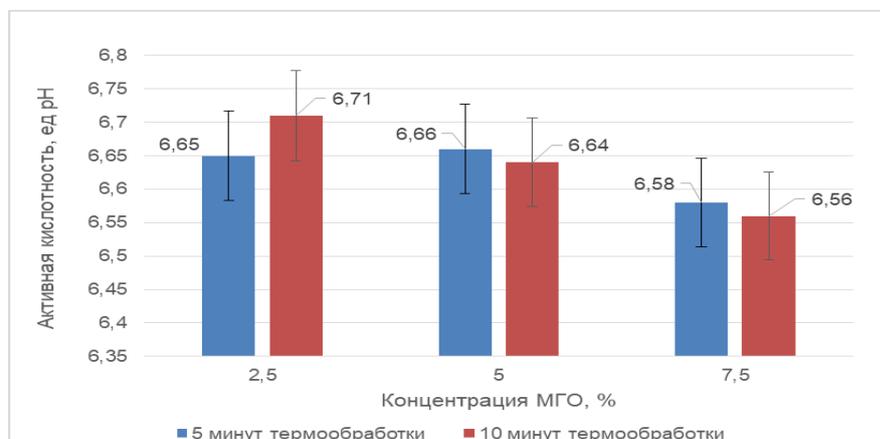


Рисунок 3.9 – Активная кислотность образцов с различной продолжительностью термообработки

По совокупной органолептической оценке, на данном этапе работы наиболее рациональная доза внесения МГО составила 5,0 %.

3.3 Исследование реологического поведения псиллиума

В рамках экспериментальных исследований была проведена оценка реологических характеристик систем на основе псиллиума в водной среде и в обезжиренном восстановленном молоке. Для этого готовили растворы с массовой долей псиллиума 1 %, при этом предварительно осуществляли диспергирование растительного сырья в воде с последующим введением молочной основы при температуре окружающей среды. После гомогенизации систему подвергали термической обработке в режиме пастеризации при температуре 90 °С в течение 10 минут. Визуальные характеристики полученных образцов до и после теплового воздействия представлены на Рисунке 3.10.



Рисунок 3.10 – Внешний вид растворов псиллиума (1,0 %)

Установлено, что в водной системе уже на стадии выдерживания при комнатной температуре наблюдается выраженное набухание частиц псиллиума (Рисунок 3.10а), что свидетельствует о высокой водосвязывающей способности данного сырья. После проведения термообработки степень набухания

существенно возрастала, сопровождаясь изменением окраски раствора от бежевого к бежево-розовому оттенку. Вероятной причиной данного явления является термически индуцированное высвобождение антоцианиновых соединений – флавоноидов растительного происхождения, входящих в состав оболочки семян подорожника. Аналогичных изменений цвета в системе «псиллиум – молоко» зафиксировано не было, что позволяет заключить, что введение псиллиума в концентрациях до 1 % включительно не оказывает существенного влияния на цветовые характеристики готового молочного продукта. При охлаждении водной системы с псиллиумом до температуры окружающей среды отмечалось постепенное формирование гелеобразной структуры. После хранения образцов в условиях холодильника при температуре (4 ± 2) °С в течение суток смесь приобретала выраженную плотную студнеобразную консистенцию, при этом наблюдался пристеночный синерезис.

В системе «псиллиум – молоко» были выявлены иные особенности структурообразования. До термической обработки раствор отличался большей однородностью по сравнению с образцом после пастеризации. В термически обработанной системе визуально фиксировались неравномерно распределённые включения частиц псиллиума различного объёма. Данный эффект, вероятно, обусловлен химической природой псиллиума, представляющего собой арабиноксилан, содержащий остатки полигалактуроновой кислоты, чувствительные к присутствию ионов кальция. Учитывая более высокую молекулярную массу псиллиума по сравнению с пектином, а также существенно большее содержание кальция в молочной среде по сравнению с водной, можно предположить усиление процессов ионного связывания, приводящих к локальной агрегации частиц. По факту вместо требуемой киселеобразной консистенции была получена плотная желеобразная система.

Далее была проведена оценка влияния снижения содержания псиллиума в водных и молочных системах на показатели консистенции. Расчётное содержание псиллиума после разбавления водой составило 0,6 %. Внешний вид

разбавленного раствора представлен на Рисунке 3.11, после суток холодильного хранения внешний вид образцов изменился.



Рисунок 3.11 – Внешний вид растворов псиллиума (0,6 %)

Полученные результаты свидетельствуют о том, что характер механического воздействия оказывает существенное влияние на реологические и структурно-механические свойства систем, содержащих псиллиум. В связи с этим на последующем этапе исследований была проведена механическая обработка сырья путём его измельчения. Внешний вид порошка псиллиума в измельчённом и исходном состоянии представлен на Рисунке 3.12.

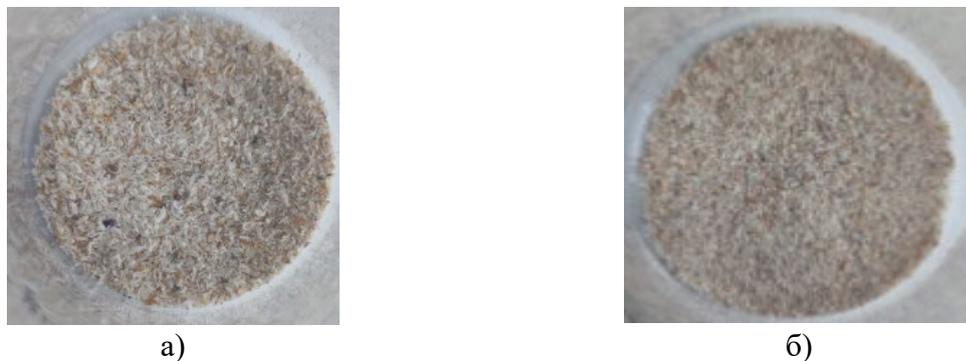


Рисунок 3.12 – Внешний вид: а) немолотого и б) молотого псиллиума

Для оценки влияния степени дисперсности на структурообразующую способность псиллиума были приготовлены 1 %-ные водные растворы. На Рисунке 3.13 представлены образцы растворов измельчённого и неизмельчённого псиллиума до проведения термической обработки; визуальная оценка осуществлялась через 30 минут после приготовления. Анализ представленных данных позволяет сделать вывод о том, что степень помола не оказывает выраженного влияния на реологическое поведение растворов псиллиума, поскольку визуально различимые отличия между образцами отсутствовали.



Аналогичная тенденция сохранялась и после термической обработки растворов (Рисунок 3.13): образцы измельчённого и неизмельчённого псиллиума характеризовались сходными внешними признаками.

Вместе с тем по сравнению с термически необработанными системами были зафиксированы определённые изменения: межсадовый гель стал более прозрачным, надосадочная фаза приобрела повышенную плотность, а выраженный осадок практически отсутствовал. Однако при механическом перемешивании термически обработанных образцов суспензия становилась более однородной, демонстрируя при этом интенсивные желирующие свойства, которые в контексте разрабатываемой технологии могут рассматриваться как нежелательные.

3.4 Блокировка кальция в окрестности казеиновых мицелл

Поскольку псиллиум показал нестабильное реологическое поведение в присутствии ионов кальция, было решено использовать низкоэтерифицированный пектин (НЭ) для блокировки мицелл казеина и предотвращения их оседания (Таблицы 3.1 и 3.2).

Таблица 3.1 – Физико-химический состав модельной системы с массовой долей МГО 2,5 %

| Наименование компонента | Количество компонента, г | Массовая доля, % | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|------------------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | Б | Ж | УВ | ПВ | СВ | Ca* | Mg* |
| Молоко | 47,65 | 1,4300 | 0,020 | 2,1400 | 0,0000 | 5,47975 | 57,180 | 4,2885 |
| Вода | 47,65 | 0,0000 | 0,000 | 0,000 | 0,0000 | 0,00205 | 2,049 | 0,0000 |
| МГО | 2,50 | 0,3800 | 0,450 | 0,075 | 0,1675 | 2,40000 | 2,450 | 3,9500 |
| Псиллиум | 1,00 | 0,0140 | 0,002 | 0,0240 | 0,8780 | 0,91800 | 0,000 | 0,0000 |
| Пектин | 1,20 | 0,0000 | 0,000 | 0,0000 | 1,0800 | 1,08000 | 0,000 | 0,0000 |
| ИТОГО | 100,00 | 1,8185 | 0,478 | 2,2433 | 2,1260 | 9,87980 | 61,679 | 8,2390 |

* – мг%

Таблица 3.2 – Физико-химический состав модельной системы с массовой долей МГО 5 %

| Наименование компонента | Количество компонента, г | Массовая доля, % | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|------------------|--------|--------|-------|---------|---------|---------|
| | | Б | Ж | УВ | ПВ | СВ | Ca* | Mg* |
| Молоко | 46,35 | 1,3905 | 0,0232 | 2,0858 | 0,000 | 5,3303 | 55,6200 | 4,1715 |
| Вода | 46,35 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,000 | 0,0020 | 1,9931 | 0,0000 |
| МГО | 5,00 | 0,7500 | 0,9000 | 0,1500 | 0,335 | 4,8000 | 4,9000 | 7,9000 |
| Псиллиум | 1,00 | 0,0140 | 0,0020 | 0,0240 | 0,878 | 0,9180 | 0,0000 | 0,0000 |
| Пектин | 1,30 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 1,170 | 1,1700 | 0,0000 | 0,0000 |
| ИТОГО | 100,00 | 2,1545 | 0,9252 | 2,2598 | 2,383 | 12,2202 | 62,5131 | 12,0715 |

* – мг%

После приготовления систем они были оценены по органолептическим показателям. В обоих случаях консистенция была излишне вязкой, что говорит о том, что массовая доля внесённого пектина слишком высока для достижения поставленной цели – формирования киселеобразной консистенции. Поэтому было решено снизить концентрацию пектина в 2 раза (до 0,6 %).

Поскольку эффекта лёгкого, характерного для киселя, гелеобразования при снижении концентрации не наблюдалось, было принято решение

приготовить ряд систем и оценить их органолептические и реологические свойства. При этом массовая доля пектина была уменьшена на $\frac{1}{4}$, в 2 и 3 раза (Рисунок 3.14).

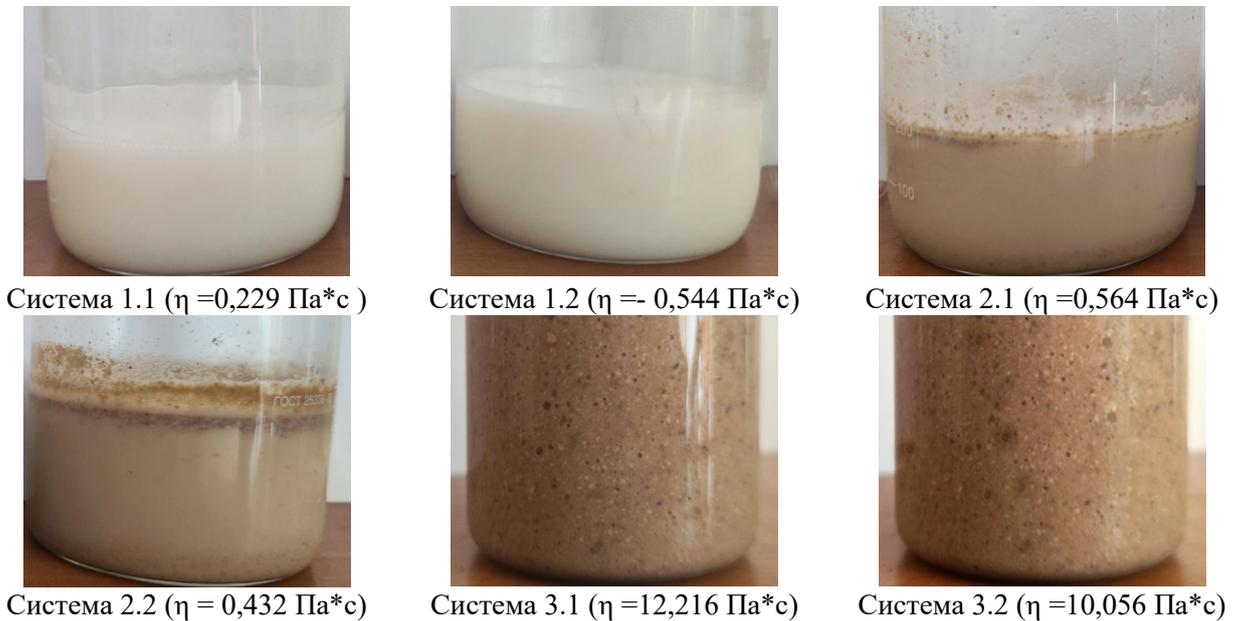


Рисунок 3.14 – Внешний вид модельных систем молоко / вода / МГО / псиллиум / пектин

В систему 1.1 и 1.2 входил только пектин в концентрации 0,4 и 0,6 % соответственно, в систему 2.1 и 2.2 пектин в концентрации 0,4 и 0,6 % с добавлением 5,0 % МГО, в состав систем 3.1 и 3.2 помимо вышеуказанных концентраций пектина и МГО было добавлено 2,0 г псиллиума. Последние две системы были излишне густыми с нарушенным сгустком, то есть при добавлении псиллиума произошла коагуляция белка наряду с резким нарастанием вязкости (η) по сравнению с другими модельными системами (Рисунок 3.14).

Поскольку введение пектина в состав модельных систем для инактивации катионов поливалентных металлов в системе закономерно приводило к экспоненциальному увеличению динамической вязкости, следствием чего была необходимость установить максимальную концентрацию пектина, при которой влияние на динамическую вязкость было бы минимизировано, равно как и минимизирована желирующая способность псиллиума.

3.5 Подбор концентраций пектина для стабилизации систем молоко-мука грецкого ореха

Для учёта влияния добавленной муки грецкого ореха, её массовая доля в системе была взята по верхней границе оптимального интервала – 5%. Массовую долю пектина варьировали от 0,1 до 0,9 % с дискретностью 0,1 % (Таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Состав модельных систем в пересчёте на 100 г

| Наименование компонента | Порядковый номер системы | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Молоко, г | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Вода дистиллированная, г | 44,9 | 44,8 | 44,7 | 44,6 | 44,5 | 44,4 | 44,3 | 44,2 | 44,1 |
| МГО, г | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Пектин, г | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |

Визуальная оценка модельных систем показала, что максимальная массовая доля пектина, практически не оказывающая заметного влияния на приращение динамической вязкости, составила 0,2 %.

Следующим этапом исследований стало определение оптимальных массовых долей псиллиума на границах интервала оптимума массовой доли муки ореха грецкого. С этой целью для каждой массовой доли муки была изготовлена серия модельных образцов с массовой долей псиллиума от 0 до 0,6 %. Примечательно, что при массовой доле МГО 5 % получение однородной неомкнующейся смеси было возможно при массовой доле псиллиума, не превышающей 0,4 %. Состав модельных систем приведён в Таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 – Состав модельных систем с массовой долей муки грецкого ореха 2,5 %, в пересчёте на 100 г

| Наименование компонента | Количество компонента, г | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Молоко | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Вода дистиллированная | 47,3 | 47,2 | 47,1 | 46,9 | 46,7 | 46,5 | 46,3 |
| Мука | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Псиллиум | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| Пектин | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

Таблица 3.5 – Состав модельных систем с массовой долей муки грецкого ореха 5 %, в пересчёте на 100 г

| Наименование компонента | Количество компонента, г | | | |
|-------------------------|--------------------------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Молоко | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Вода дистиллированная | 44,8 | 44,7 | 44,6 | 44,4 |
| Мука | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Псиллиум | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,4 |
| Пектин | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |

Для каждой модельной системы было определено значение динамической вязкости. При максимальном значении массовой доли МГО кинетика демонстрировала экспоненциальный отклик на увеличение массовой доли псиллиума (Рисунок 3.15). В то же время при минимальной массовой доле МГО максимальный темп прироста динамической вязкости был в интервале массовых долей псиллиума от 0,3 до 0,75 %. В остальных интервалах вид кинетики значительно отличался от канонического (экспоненциального прироста). Причина этому на данном этапе исследований не была выявлена.

Аппроксимация экспериментальных данных позволила получить математические описания рассматриваемых кинетик, удовлетворительно их описывающие в пределах экспериментальных интервалов варьирования значений массовой доли псиллиума.

При концентрации муки ореха грецкого 2,5 % модель имеет вид:

$$\eta = \frac{a + c \cdot [C_{ps}] + f \cdot [C_{ps}]^2}{1 + b \cdot [C_{ps}] + d \cdot [C_{ps}]^2}, \quad (3)$$

а при концентрации 5 % –

$$\eta = a \cdot \exp\left(\frac{[C_{ps}]}{b}\right), \quad (4)$$

где η – динамическая вязкость, мПа·с; $[C_{ps}]$ – массовая доля псиллиума, %; a , b , c , d и f – коэффициенты.

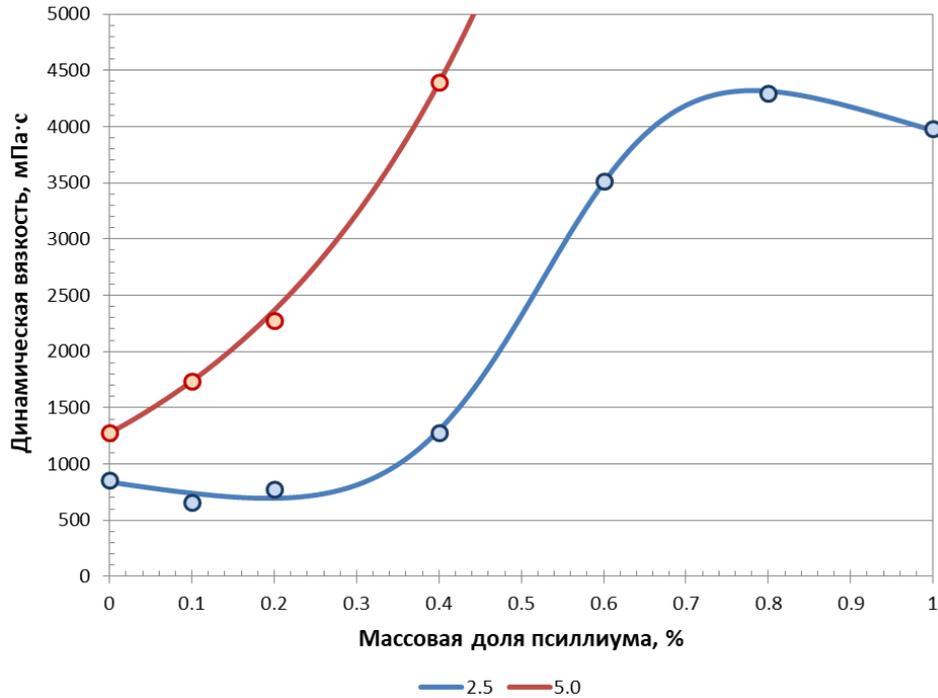


Рисунок 3.15 – Влияние массовой доли псиллиума на кинетику динамической вязкости модельных систем

Статистически характеристики полученных моделей приведены в Таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Статистические характеристики моделей кинетик динамической вязкости на интервале массовой доли псиллиума

| Массовая доля МГО, % | Параметры | Коэффициенты | | | | | R ² | Значимость (P>F) |
|----------------------|--------------------|--------------|----------|----------|---------|---------|----------------|------------------|
| | | a | b | c | d | f | | |
| 2.5 | значения | 839,896 | -2,87137 | -3493,48 | 2,64395 | 5718,24 | 0,9991 | 0,0018 |
| | значимость (P> t) | 0,00597 | 0,00126 | 0,02362 | 0,00712 | 0,03113 | | |
| 5.0 | значения | 1277,08 | 0,32389 | – | – | – | 0,9986 | 0,00072 |
| | значимость (P> t) | 0,00089 | 0,00083 | – | – | – | | |

Обе модели демонстрируют выраженный нелинейный характер. Соответственно, для обеих моделей в пределах диапазонов увеличения динамической вязкости существует формальная граница, разделяющая диапазон на область с относительно малым темпом и область с относительно большим темпом прироста динамической вязкости при увеличении массовой доли псиллиума.

Для обеих моделей таковые границы были определены методом дважды изменённых метрик. Массовой доле муки грецкого ореха 2,5 % эта граница соответствовала массовой доле псиллиума 0,44%, тогда как массовой доле муки 5 % – 0,22%. Предположительно, эти границы являются локальными точками оптимума, когда дальнейшее увеличение концентрации псиллиума приводит к переходу в область высокого темпа прироста вязкости. Примечательно, что для обеих массовых долей муки грецкого ореха произведение массовой доли муки ореха грецкого и массовой доли псиллиума были величиной постоянной, равной 1,1. Полагая в дальнейшем таковую константу справедливой и для остальных массовых долей муки грецкого ореха, были определены составы промежуточных модельных систем, а также модельной системы, соответствующей границе (*M*) перехода кривой.

$$[C_{ps}] \cdot [C_{wp}] = 1.1, \quad (5)$$

где $[C_{wp}]$ – массовая доля муки ореха грецкого, %.

Составы модельных систем приведены в Таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Состав модельных систем в пересчёте на 100 г

| Наименование компонента | Количество компонента, г | | | | |
|-------------------------|--------------------------|-------|----------|-------|-------|
| | 1 | 2 | <i>M</i> | 3 | 4 |
| Молоко | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Вода дистиллированная | 46.86 | 46.22 | 45.95 | 45.15 | 44.58 |
| МГО | 2.50 | 3.24 | 3.54 | 4.40 | 5,0 |
| Псиллиум | 0.44 | 0.34 | 0.31 | 0.25 | 0.22 |
| Пектин | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |

Оценка органолептических показателей данных модельных систем по консистенции и вкусу показала, что лучшей консистенцией обладали системы *M* и *З*, равно как и выраженностью вкуса.

Особенностью полученных модельных систем является необходимость взбалтывания (или перемешивания) перед употреблением: после такого нарушения структуры она уже не восстанавливается.

Поскольку, при прочих равных условиях, механическая прочность псиллиумсодержащей структуры тем меньше, чем меньше его массовая доля в системе, соответственно, оптимальным составом может быть принят вариант *M*.

Учитывая необходимость нивелирования горького вкуса ореховой муки и улучшения органолептических показателей, было решено провести серию экспериментов на основе топленого молока с последующим добавлением или без вкусоароматической композиции.

3.6 Определение дозы пектина для стабилизации системы топленое молоко-мука грецкого ореха

Как было сказано выше основной проблемой при получении заданной киселеобразной консистенции является достижение гармоничной органолептической палитры, в том числе выявлена необходимость усиления вкуса молочной основы. Использование топленого молока обосновано не только его вкусовыми качествами, но и рядом преимуществ с точки зрения пищевой ценности, например, повышенная усвояемость, наличие короткоцепочечных и среднецепочечных жирных кислот, конъюгированной линолевой кислоты и жирорастворимых витаминов. Кроме того, доказано, что при проведении процесса топления не происходит снижения биологической ценности по сравнению с обычным молоком [131].

Методология исследований на данном этапе была аналогична предыдущей, но были выявлены в ходе работы реологические особенности псиллиума в разрабатываемой многокомпонентной системе.

Как показали предыдущие исследования регулировать реологическое поведение в разрабатываемой системе можно с учетом барьерного взаимодействия пектина с молекулами белка. При этом необходима более глубокая градация концентраций пектина, рецептуры экспериментальных образцов представлены в Таблице 3.8. Данные по изменению активной и титруемой кислотности представлены на Рисунках 3.16 и 3.17.

Таблица 3.8 – Рецептуры экспериментальных образцов

| Наименование компонента | Номер образца | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Молоко топленое, мл | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Вода дист., мл | 100 | 99,8 | 99,6 | 99,4 | 99,2 | 99,0 | 98,8 | 98,6 | 98,4 | 98,2 | 98,0 |
| Пектин, г | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 |

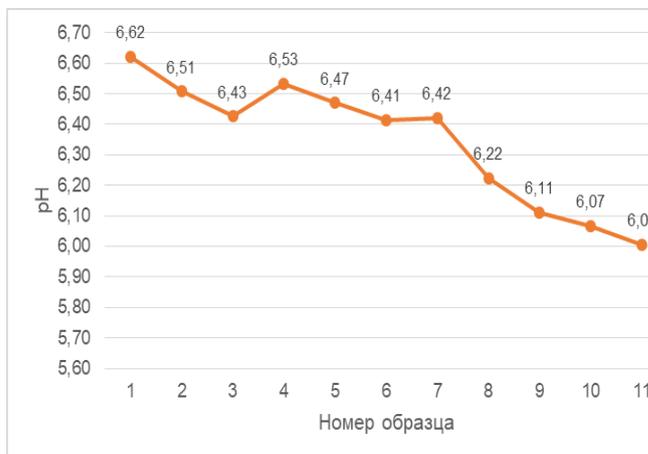


Рисунок 3.16 – Динамика изменения активной кислотности

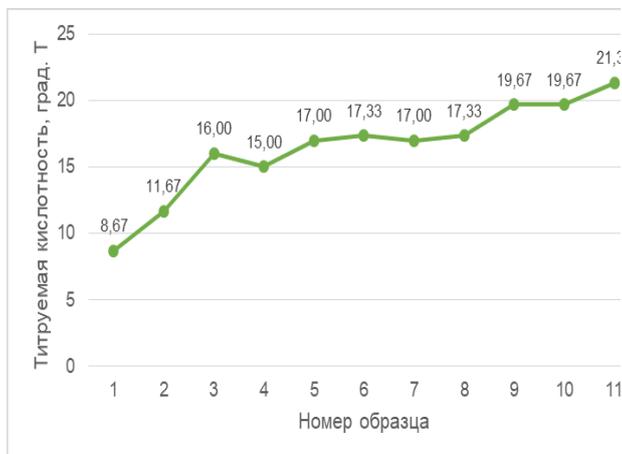


Рисунок 3.17 – Динамика изменения титруемой кислотности

Массовая доля топленого молока в системе составила 50 % во всех исследуемых образцах, массовая доля пектина – от 0,1 до 1,0 % с шагом 0,1. Для каждой концентрации пектина было приготовлено 10 вариантов модельных систем с массовой долей муки грецкого ореха от 1,0 до 10,0 % с шагом 1,0. Оставшийся объем до 100 % доводили дистиллированной водой – Таблица 3.9.

Таблица 3.9 – Рецептуры экспериментальных образцов

| Номер образца | Массовая доля топлёного молока, мл | Массовая доля пектина, г | Массовая доля муки грецкого ореха, г | Вода, мл |
|---------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------|
| 1.1 | 50 | 0,1 | 1 | 48,9 |
| 1.2 | 50 | 0,1 | 2 | 47,9 |
| 1.3 | 50 | 0,1 | 3 | 46,9 |
| 1.4 | 50 | 0,1 | 4 | 45,9 |
| 1.5 | 50 | 0,1 | 5 | 44,9 |
| 1.6 | 50 | 0,1 | 6 | 43,9 |
| 1.7 | 50 | 0,1 | 7 | 42,9 |
| 1.8 | 50 | 0,1 | 8 | 41,9 |
| 1.9 | 50 | 0,1 | 9 | 40,9 |
| 1.10 | 50 | 0,1 | 10 | 39,9 |
| 2.1 | 50 | 0,2 | 1 | 48,8 |
| 2.2 | 50 | 0,2 | 2 | 47,8 |
| 2.3 | 50 | 0,2 | 3 | 46,8 |
| 2.4 | 50 | 0,2 | 4 | 45,8 |
| 2.5 | 50 | 0,2 | 5 | 44,8 |
| 2.6 | 50 | 0,2 | 6 | 43,8 |
| 2.7 | 50 | 0,2 | 7 | 42,8 |
| 2.8 | 50 | 0,2 | 8 | 41,8 |
| 2.9 | 50 | 0,2 | 9 | 40,8 |
| 2.10 | 50 | 0,2 | 10 | 39,8 |
| 3.1 | 50 | 0,3 | 1 | 48,7 |
| 3.2 | 50 | 0,3 | 2 | 47,7 |
| 3.3 | 50 | 0,3 | 3 | 46,7 |
| 3.4 | 50 | 0,3 | 4 | 45,7 |
| 3.5 | 50 | 0,3 | 5 | 44,7 |
| 3.6 | 50 | 0,3 | 6 | 43,7 |
| 3.7 | 50 | 0,3 | 7 | 42,7 |
| 3.8 | 50 | 0,3 | 8 | 41,7 |
| 3.9 | 50 | 0,3 | 9 | 40,7 |
| 3.10 | 50 | 0,3 | 10 | 39,7 |
| 4.1 | 50 | 0,4 | 1 | 48,6 |
| 4.2 | 50 | 0,4 | 2 | 47,6 |
| 4.3 | 50 | 0,4 | 3 | 46,6 |
| 4.4 | 50 | 0,4 | 4 | 45,6 |
| 4.5 | 50 | 0,4 | 5 | 44,6 |
| 4.6 | 50 | 0,4 | 6 | 43,6 |
| 4.7 | 50 | 0,4 | 7 | 42,6 |
| 4.8 | 50 | 0,4 | 8 | 41,6 |
| 4.9 | 50 | 0,4 | 9 | 40,6 |
| 4.10 | 50 | 0,4 | 10 | 39,6 |
| 5.1 | 50 | 0,5 | 1 | 48,5 |
| 5.2 | 50 | 0,5 | 2 | 47,5 |
| 5.3 | 50 | 0,5 | 3 | 46,5 |
| 5.4 | 50 | 0,5 | 4 | 45,5 |
| 5.5 | 50 | 0,5 | 5 | 44,5 |
| 5.6 | 50 | 0,5 | 6 | 43,5 |
| 5.7 | 50 | 0,5 | 7 | 42,5 |
| 5.8 | 50 | 0,5 | 8 | 41,5 |

Окончание Таблицы 3.9

| | | | | |
|-------|----|-----|----|------|
| 5.9 | 50 | 0,5 | 9 | 40,5 |
| 5.10 | 50 | 0,5 | 10 | 39,5 |
| 6.1 | 50 | 0,6 | 1 | 48,4 |
| 6.2 | 50 | 0,6 | 2 | 47,4 |
| 6.3 | 50 | 0,6 | 3 | 46,4 |
| 6.4 | 50 | 0,6 | 4 | 45,4 |
| 6.5 | 50 | 0,6 | 5 | 44,4 |
| 6.6 | 50 | 0,6 | 6 | 43,4 |
| 6.7 | 50 | 0,6 | 7 | 42,4 |
| 6.8 | 50 | 0,6 | 8 | 41,4 |
| 6.9 | 50 | 0,6 | 9 | 40,4 |
| 6.10 | 50 | 0,6 | 10 | 39,4 |
| 7.1 | 50 | 0,7 | 1 | 48,3 |
| 7.2 | 50 | 0,7 | 2 | 47,3 |
| 7.3 | 50 | 0,7 | 3 | 46,3 |
| 7.4 | 50 | 0,7 | 4 | 45,3 |
| 7.5 | 50 | 0,7 | 5 | 44,3 |
| 7.6 | 50 | 0,7 | 6 | 43,3 |
| 7.7 | 50 | 0,7 | 7 | 42,3 |
| 7.8 | 50 | 0,7 | 8 | 41,3 |
| 7.9 | 50 | 0,7 | 9 | 40,3 |
| 7.10 | 50 | 0,7 | 10 | 39,3 |
| 8.1 | 50 | 0,8 | 1 | 48,2 |
| 8.2 | 50 | 0,8 | 2 | 47,2 |
| 8.3 | 50 | 0,8 | 3 | 46,2 |
| 8.4 | 50 | 0,8 | 4 | 45,2 |
| 8.5 | 50 | 0,8 | 5 | 44,2 |
| 8.6 | 50 | 0,8 | 6 | 43,2 |
| 8.7 | 50 | 0,8 | 7 | 42,2 |
| 8.8 | 50 | 0,8 | 8 | 41,2 |
| 8.9 | 50 | 0,8 | 9 | 40,2 |
| 8.10 | 50 | 0,8 | 10 | 39,2 |
| 9.1 | 50 | 0,9 | 1 | 48,1 |
| 9.2 | 50 | 0,9 | 2 | 47,1 |
| 9.3 | 50 | 0,9 | 3 | 46,1 |
| 9.4 | 50 | 0,9 | 4 | 45,1 |
| 9.5 | 50 | 0,9 | 5 | 44,1 |
| 9.6 | 50 | 0,9 | 6 | 43,1 |
| 9.7 | 50 | 0,9 | 7 | 42,1 |
| 9.8 | 50 | 0,9 | 8 | 41,1 |
| 9.9 | 50 | 0,9 | 9 | 40,1 |
| 9.10 | 50 | 0,9 | 10 | 39,1 |
| 10.1 | 50 | 1,0 | 1 | 48,0 |
| 10.2 | 50 | 1,0 | 2 | 47,0 |
| 10.3 | 50 | 1,0 | 3 | 46,0 |
| 10.4 | 50 | 1,0 | 4 | 45,0 |
| 10.5 | 50 | 1,0 | 5 | 44,0 |
| 10.6 | 50 | 1,0 | 6 | 43,0 |
| 10.7 | 50 | 1,0 | 7 | 42,0 |
| 10.8 | 50 | 1,0 | 8 | 41,0 |
| 10.9 | 50 | 1,0 | 9 | 40,0 |
| 10.10 | 50 | 1,0 | 10 | 39,0 |

В результате проведённых исследований для каждого варианта соотношения «пектин – МГО» были получены экспериментальные данные, включающие активную (рН) и титруемую кислотность, а также основные органолептические показатели: консистенцию, вкус, запах, цвет. В общей совокупности данных имела место вариативность по рН в пределах от 5,4 до 6,4 и титруемой кислотности в пределах от 10,67 до 77,33 °Т. Анализ экспериментальных данных показал, что увеличение массовой доли пектина приводит к некоторому снижению рН трёхкомпонентной системы (Рисунок 3.18), что логично, поскольку пектин имеет в составе остатки галактуроновой кислоты, несущие в том числе и свободные карбоксильные группы, и при увеличении концентрации кислотных групп в системе рН должен закономерно демонстрировать некоторое снижение.

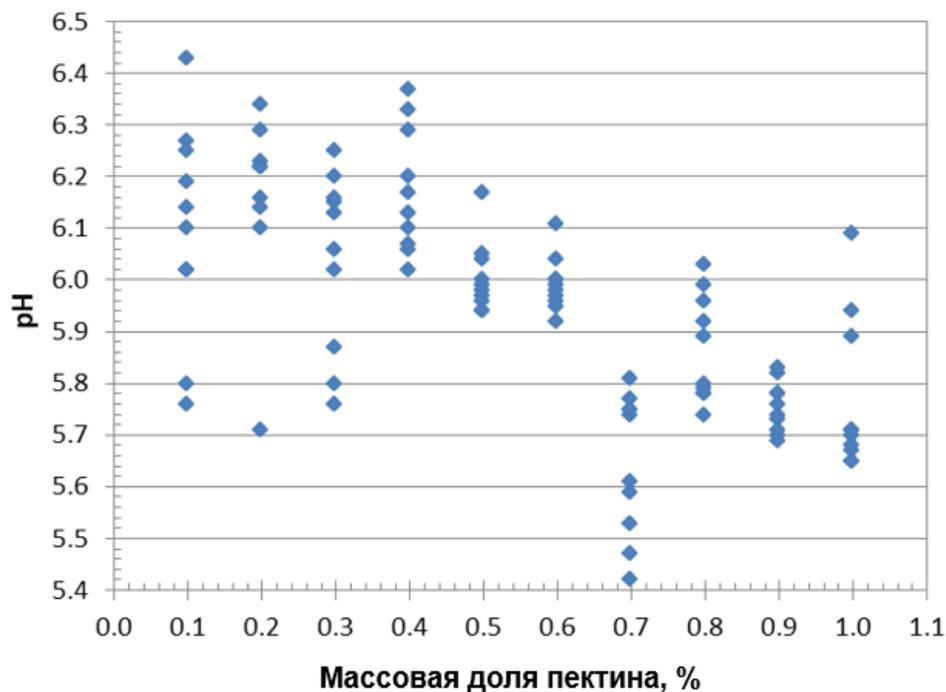


Рисунок 3.18 – Влияние массовой доли пектина на рН трёхкомпонентной системы

На рисунке данное влияние прослеживается визуально. При этом коэффициент корреляции рассматриваемой взаимосвязи составляет -0,67, что говорит о преобладающей доле данного влияния, но недостаточной для того для прогностической оценки значения рН.

Теоретически, рН и титруемая кислотность при рассмотрении их природы как результата накопления в системе свободных ионов гидроксония, должны демонстрировать определённую взаимосвязь друг с другом. Однако, вопреки ожиданиям, статистически значимого влияния массовой доли пектина на титруемую кислотность выявлено не было. Коэффициент корреляции составил всего -0,19. В противоположность пектину на титруемую кислотность оказывала влияние массовая доля МГО (Рисунок 3.19).

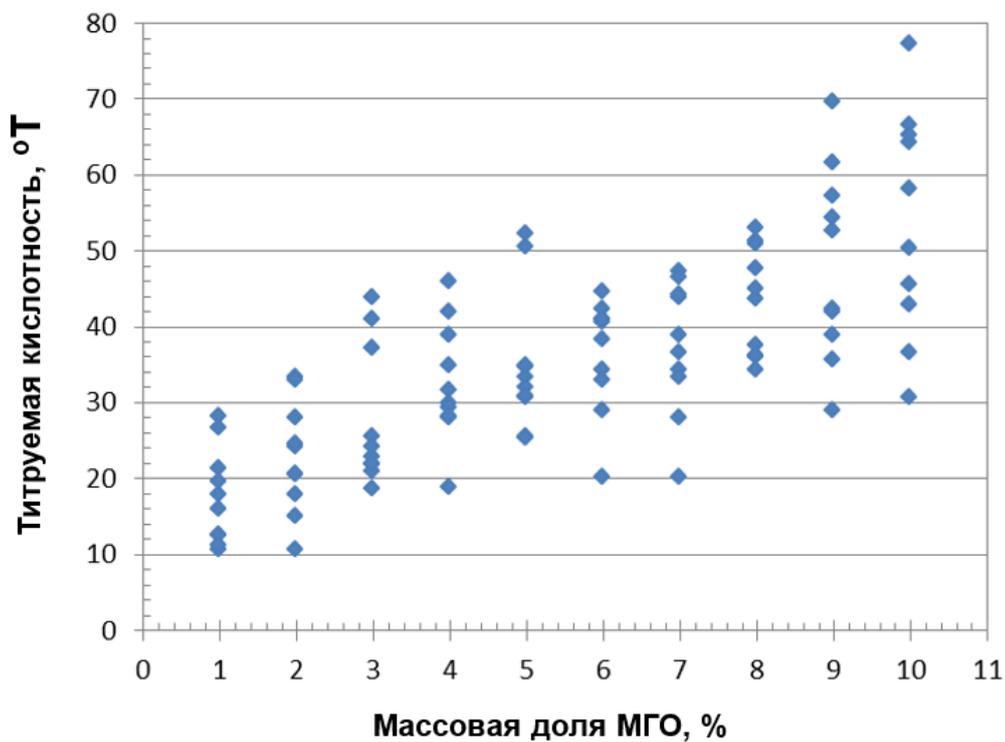


Рисунок 3.19 – Влияние массовой доли МГО (в английской интерпретации WF – от «walnut flour») на титруемую кислотность трёхкомпонентной системы

С учётом некоторой доли неопределённости коэффициент корреляции составил 0,75. При этом визуально идентифицируется практически прямая зависимость, возмущаемая в сторону увеличения титруемой кислотности при массовой доле МГО, равной или меньшей 5, и – в сторону уменьшения показателя при массовой доле МГО, равной или большей 6. То есть влияние МГО на титруемую кислотность оказалось выше, чем пектина на рН. Но, в свою очередь, массовая доля МГО практически не оказывала влияния на рН (коэффициент корреляции -0,13). В результате получили противоречие: оба

показателя – и рН, и титруемая кислотность, – теоретически, должны отражать суть проявления средой кислотных свойств, вследствие чего должна иметь место корреляция между ними или, что, фактически, то же самое, массовые доли пектина и МГО, показывая корреляцию с одним вариантом отображения кислотности, должны демонстрировать наличие корреляции и с другим.

Однако, как показали результаты исследований, этого не происходит. Отталкиваясь от природы рН, можем предположить, что в составе МГО содержатся компоненты, способные в сочетании с молоком и пектином проявлять себя в качестве кислот и оснований Льюиса, тем самым оказывая значимое влияние на титруемую кислотность без обязательной необходимости участия в процессе продуцирования катионов H^+ (Carey, 2003, Greenwood et al., 1997). Данное предположение косвенно подтверждается положительной корреляцией титруемой кислотности с массовой долей МГО. При этом вероятно, в рассматриваемой системе титруемая кислотность формируется преимущественно по данному механизму, поскольку вклад катионов H^+ , вносимый диссоциацией карбоксильных групп пектина, непосредственного влияния не оказывает. В этой связи возникает вопрос о влиянии каждого из факторов кислотности на проявление органолептических свойств.

3.7 Исследование влияния активной, титруемой кислотности и состава модельных систем на их органолептические характеристики

Для учёта всей совокупности органолептических свойств исследованных трёхкомпонентных систем, в дальнейшем оперировали интегральным показателем, представляющим собой сумму баллов. Результаты исследований показали нетривиальную картину взаимосвязи рН трёхкомпонентной системы и общей органолептической оценки (Рисунок 3.20). При отсутствии явно выраженной взаимосвязи обращает на себя внимание резкая очерченность

границы множества экспериментальных данных в координатах «рН – интегральный органолептический показатель».

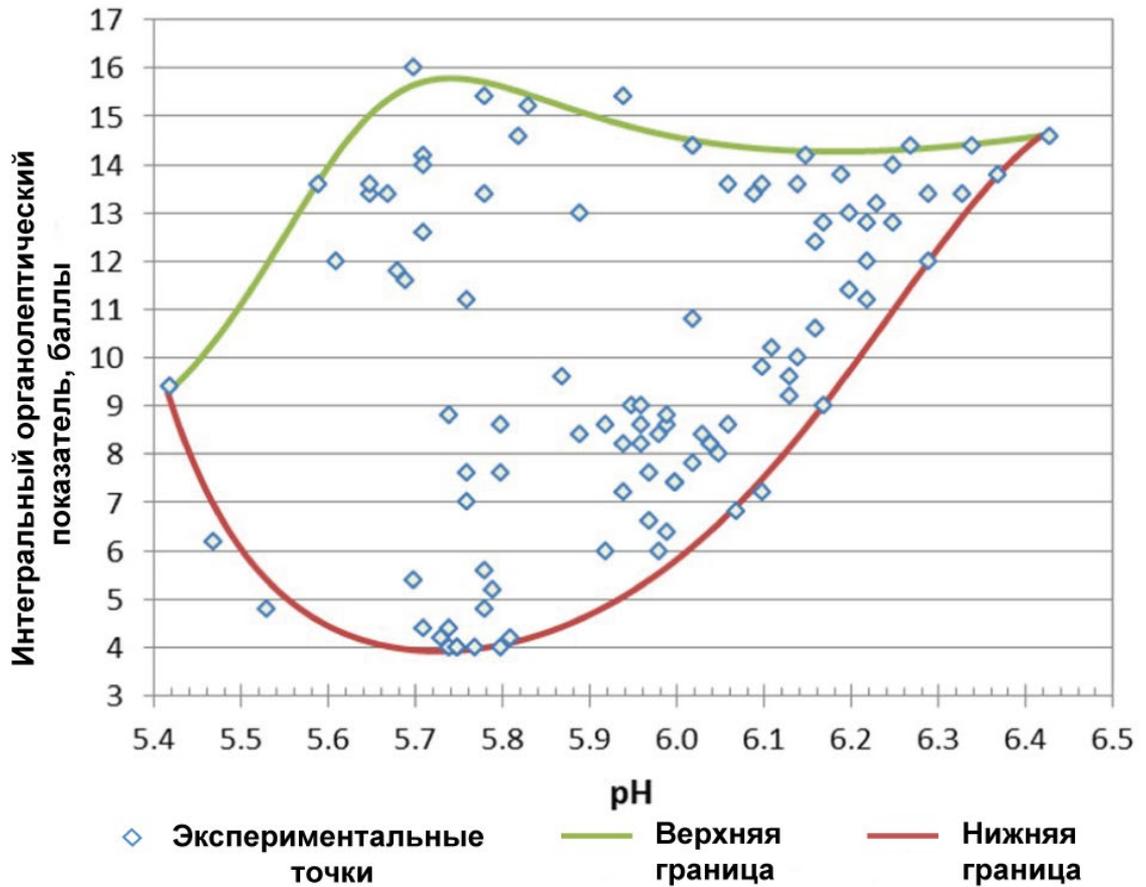


Рисунок 3.20 – Влияние рН системы «молоко – пектин – МГО» на интегральный органолептический показатель

В результате аппроксимации пограничных экспериментальных данных были определены эмпирические модели, адекватно описывающие, соответственно, нижнюю и верхнюю границы множества:

$$TS = \exp(a + b \cdot pH + c \cdot pH^2 + pH^3), \quad (6)$$

$$TS = \frac{a + c \cdot pH^{0.5} + e \cdot pH + g \cdot pH^{1.5}}{1 + b \cdot pH^{0.5} + d \cdot pH + f \cdot pH^{1.5}}, \quad (7)$$

где TS – сумма баллов органолептического анализа, балл; a – константы; b, c, d, e, f и g – коэффициенты.

Статистические характеристики моделей представлены в Таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Статистические характеристики моделей верхней и нижней границ множества данных влияния рН системы на её интегральный органолептический показатель

| Модель | Константа и коэффициенты | | | | | | | r ² | P>F | |
|-----------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|
| | a | b | c | d | e | f | g | | | |
| Нижняя граница | значение | 1378.582 | - | 112.038 | - | - | - | - | 0.9935 | < 10 ⁻⁵ |
| | P> t | < 10 ⁻⁵ | < 10 ⁻⁵ | < 10 ⁻⁵ | < 10 ⁻⁵ | - | - | - | | |
| Верхняя граница | значение | 0.577 | -1.162 | 0.206 | 0.447 | - | - | 0.125 | 0.9789 | 0.0005 |
| | P> t | < 10 ⁻⁵ | | |

Верхняя и нижняя границы имеют выраженный максимум и минимум, соответственно, при рН системы в пределах 5.7-5.8. Обращает на себя внимание замкнутость границ: верхняя и нижняя границы пересекаются в точках [5.42; 9.27] и [6.42; 14.60], практически все экспериментальные данные находятся внутри области, между границами. При этом, чем ближе к точкам пересечения, тем меньше неопределённость взаимосвязи, и – наоборот. Этот факт может косвенно указывать, что чем дальше значение рН трёхкомпонентной системы от некоторого промежуточного значения, тем выше однозначность влияния показателя на её органолептические свойства, тогда как промежуточное значение является оптимумом для проявления неустановленными компонентами маскирующего эффекта, либо снижения ими стабилизирующего эффекта. Двуплечий характер проявления неопределённости позволяет предполагать, что эти компоненты имеют белковую природу, и изменение конформации вследствие изменения рН приводит к либо к вовлечению в проявление органолептических свойств дополнительных функциональных групп, либо к частичной инактивации в области, вероятно имеющей природу изоэлектрической точки, когда стабильность компонентов в системе снижается до минимума. Примечательно, что на данном этапе исследований обе гипотезы равнозначны, не имея друг перед другом каких-либо преимуществ.

В то же время каких-либо особенностей влияния титруемой кислотности как таковой на интегральный показатель органолептических свойств выявлено не было.

Весьма нетривиальный результат был получен при анализе взаимосвязи рН трёхкомпонентных систем «молоко – пектин – МГО» и титруемой кислотности. Массив из ста точек, полученных в результате исследований, образовал в координатах «рН – титруемая кислотность» некоторое подобие треугольника с криволинейными сторонами и основанием, почти сонаправленным оси абсцисс, и выраженными вершинами (рисунок 3.21).

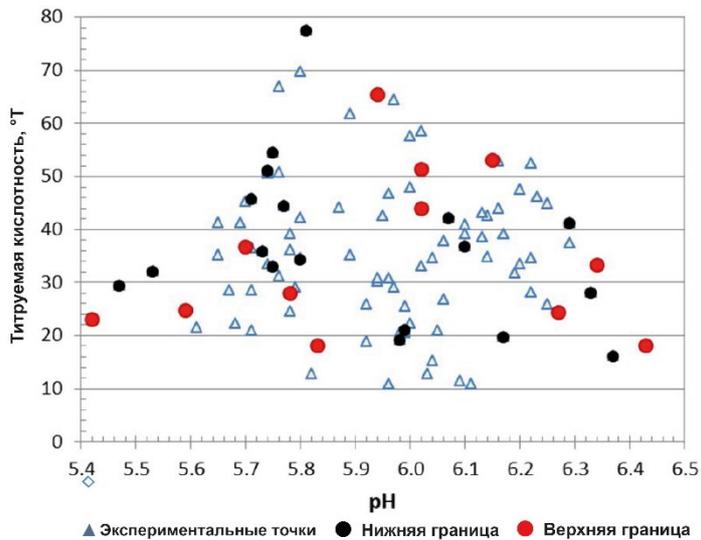


Рисунок 3.21 – Эмпирическая взаимосвязь рН и титруемой кислотности в системе «молоко – пектин – МГО»

Наложение экспериментальных данных, соответствующих верхней и нижней границе Рисунка 3.20, не позволило выявить однозначной общей закономерности их распределения в пределах «криволинейного» треугольника на Рисунке 3.21. Однако имели место некоторые частные закономерности, интервального характера, зашумленные данными с промежуточными значениями органолептической оценки. Так, визуально может быть идентифицировано значение рН 5,9, разделяющее треугольник на две области. В левой, в диапазоне меньших значений рН, расположение точек верхней границы было стохастично относительно значений титруемой кислотности, тогда как расположение точек нижней границы демонстрировало прямую экспоненциальную зависимость титруемой кислотности от рН с увеличивающейся зашумленностью при приближении к границе раздела областей. В области, соответствующей диапазону больших значений рН, имела место обратная тенденция: на фоне стохастичного расположения относительно титруемой кислотности точек, соответствующей нижней границе, точки верхней границы демонстрировали зашумленную, но обратную, практически линейную, взаимосвязь рН и титруемой кислотности. В

Наложение экспериментальных данных, соответствующих верхней и нижней границе Рисунка 3.20, не позволило выявить однозначной общей закономерности их распределения в пределах «криволинейного» треугольника на Рисунке 3.21. Однако имели место некоторые частные закономерности, интервального характера, зашумленные

целом, общий характер неопределённости между рН и титруемой кислотностью, так же, как и в случае с ситуацией, представленной на Рисунке 3.21, наталкивает на мысль о белковой природе факторов, определяющих эту неопределённость и влияющих на её выраженность, с критической точкой (возможно – изоэлектрической) в районе рН 5,9.

В этой связи довольно показательна картина комплексного влияния массовых долей пектина и МГО в трёхкомпонентной системе на рН в диапазоне значений зависимого фактора от 6 и выше (Рисунок 3.22).

Несмотря на отсутствие общей корреляции между массовой долей МГО и рН, в диапазоне массовой доли пектина от 0,1 до 0,4 % такая корреляция уже имеет место, и логично вписывается в картину формирования рН, уменьшая её значение при увеличении массовой доли МГО. И лишь при добавлении диапазона рН со значениями, меньшими 6, формируемого увеличением массовой доли пектина в системе, усиливают свою роль эффекты, которые выше определили, как увеличение доли кислот и оснований Льюиса.

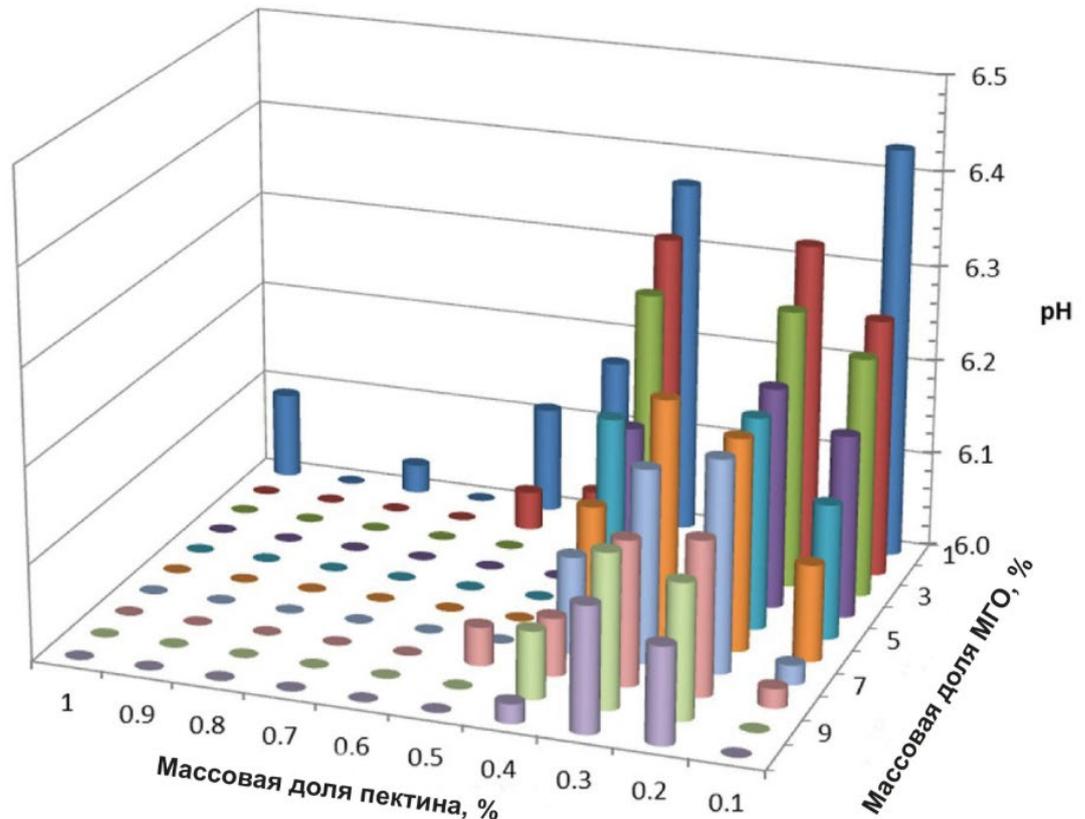


Рисунок 3.22 – Влияние массовых долей пектина и МГО в системе «молоко – пектин – МГО» на рН (в диапазоне рН от 6 и выше)

Анализ влияния массовой доли пектина оказывать возмущающий эффект на взаимосвязь титруемой кислотности и массовой доли МГО показал, что такой эффект, действительно, имеет место (Рисунок 3.23).

И при этом степень проявления возмущающего эффекта зависит как от массовой доли пектина, так и соотношения массовых долей пектина и МГО, что косвенно указывает на имеющие место взаимодействия как минимум компонентов МГО и пектина и наличие некоторого спектра как вариаций этого взаимодействия, так и его результатов. Последний вывод в общих чертах вполне согласуется с существующими представлениями об особенностях взаимодействия пектиновых молекул с белками, в том числе молочными [132].

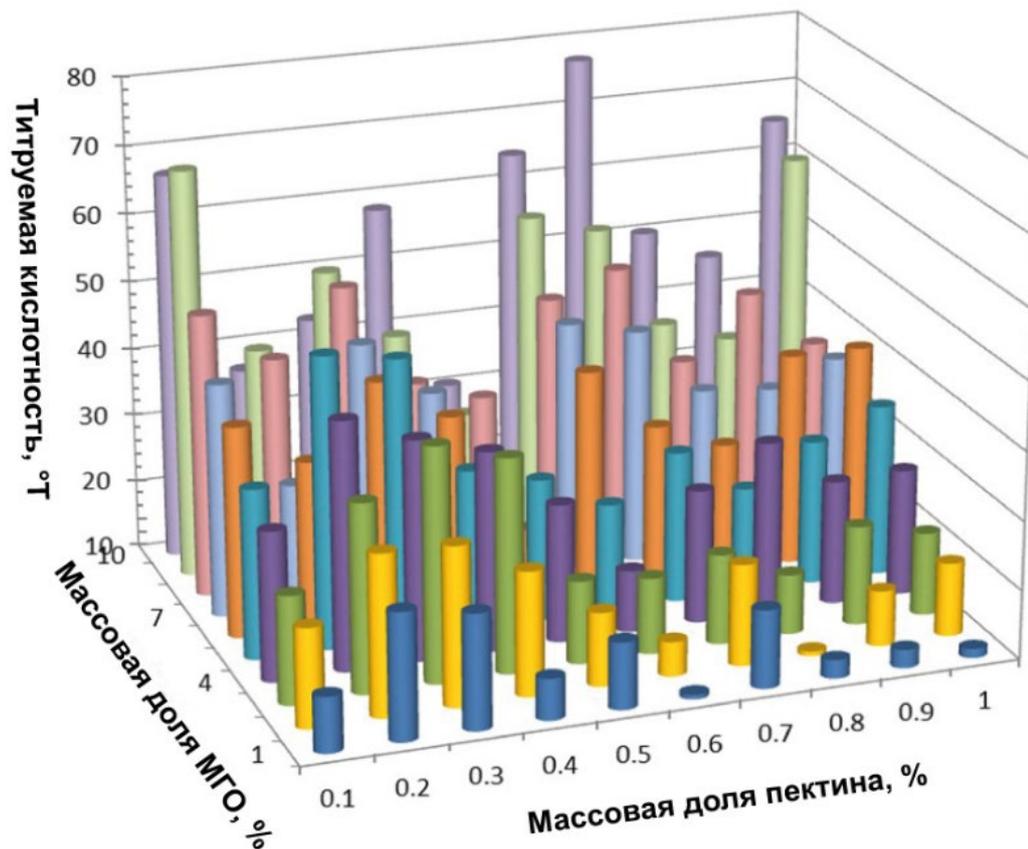


Рисунок 3.23 – Влияние массовых долей пектина и МГО в системе «молоко – пектин – МГО» на титруемую кислотность

Анализ совокупности рассмотренных выше результатов исследований, предложенных гипотез, а также современных представлений о молекулярной структуре пектиновых молекул и сложном составе МГО позволяют предположить о весьма неоднозначном совместном влиянии массовых долей

пектина и МГО на проявление органолептических свойств исследованных трёхкомпонентных систем с их участием. Результаты непосредственного исследования этого участия представлены на Рисунке 3.24.

Поскольку интегральный органолептический показатель включает значения органолептической оценки по четырём органолептическим показателям, следовательно, целевое рассмотрение комплексного участия компонентов системы на его формирование имеет смысл в диапазоне значений, больших 12.

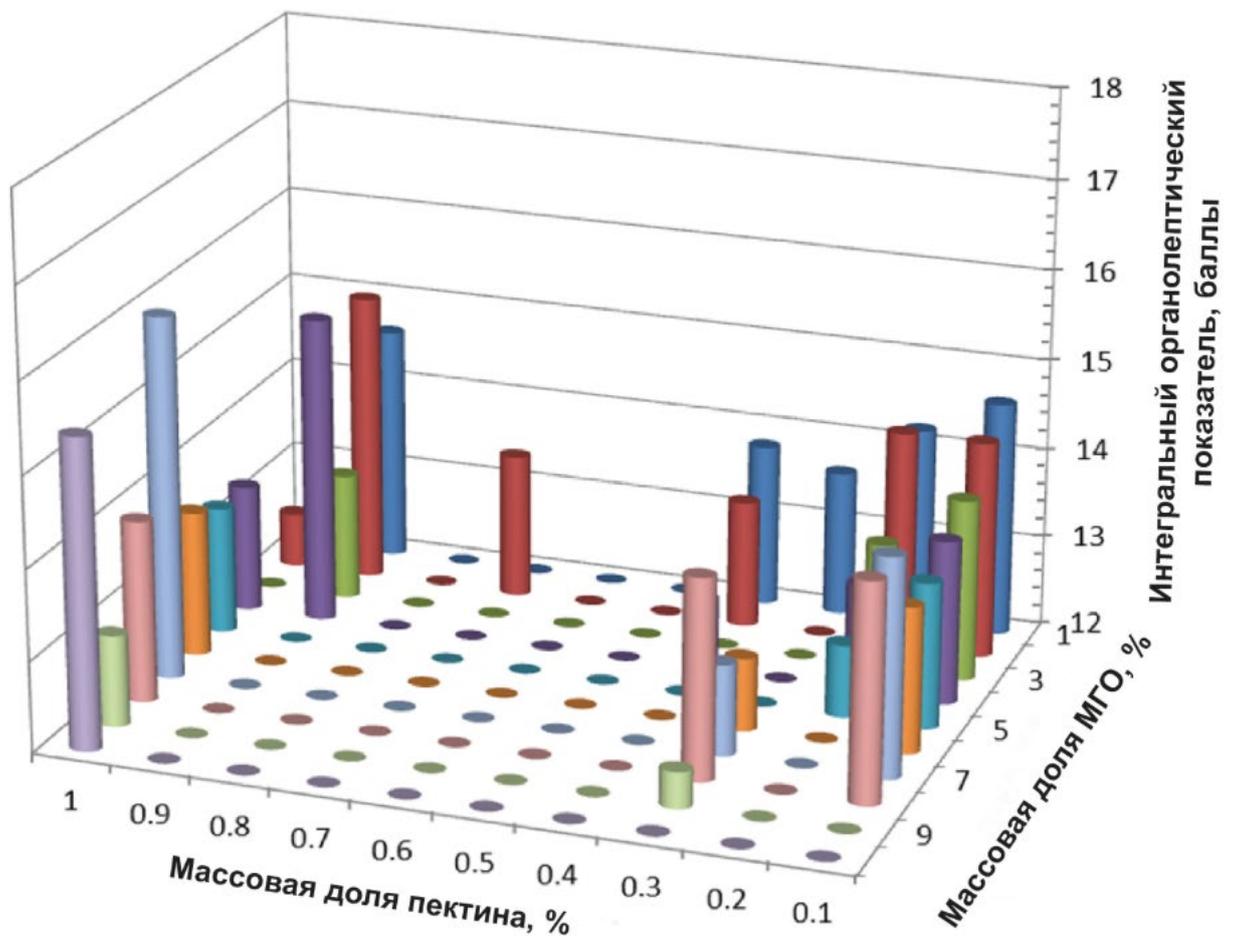


Рисунок 3.24 – Влияние массовых долей пектина и МГО в системе «молоко / пектин / МГО» на интегральный органолептический показатель

В этом случае заслуживает внимания область, включающая диапазон массовой доли пектина от 0,4 до 0,8 и диапазон массовой доли МГО от 3,0 до 1,0 %, для которой в пределах принятых допущений формирование трёхкомпонентной системы «молоко / пектин / МГО» не имеет смысла с точки зрения органолептической оценки полученного результата. При этом обращают

на себя внимание диапазон массовых долей пектина – от 0,1 до 0,3 %, и концентрация 0,9 %, в которых интегральная органолептическая оценка системы удовлетворительна в широком интервале массовых долей МГО. В остальном диапазоне приемлемой являлась массовая доля МГО не больше 0,4 % или же совсем включающая приемлемые варианты.

3.8 Установление зависимостей напряжения сдвига от скорости сдвига поликомпонентных молочных систем

Задачей данного этапа исследований стало по единой модели, которая адекватно удовлетворяет всем вариантам, выделить одну модель. По ней найти коэффициенты для каждой экспериментальной точки и проанализировать вклад в формирование этих значений соотношения компонентов (пектина, МГО и молока в продукте). Далее необходимо промоделировать комплексное влияние этих коэффициентов реологической модели на органолептические свойства и найти эмпирические зависимости, связывающие при каждой концентрации пектина значения коэффициентов от массовой доли пектина.

Для оценки реологических свойств полидисперсных молочных систем максимально подходит модель Шульмана вида (8):

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^{1/2}, \quad (8)$$

где τ – напряжение сдвига; τ_0 – предельное напряжение сдвига, $\dot{\gamma}$ – скорость сдвига, K – коэффициент динамической вязкости

Данные по эксперименту с рассчитанными предельным напряжением сдвига и коэффициентом динамической вязкости представлены в приложении А.

По каждой из систем путем эмпирического подбора определены зависимости и интегральные коэффициенты влияния каждого компонента на

качественные характеристики полидисперсных молочных систем (коэффициент динамической вязкости относительно введения ингредиентов, Рисунок 3.25).

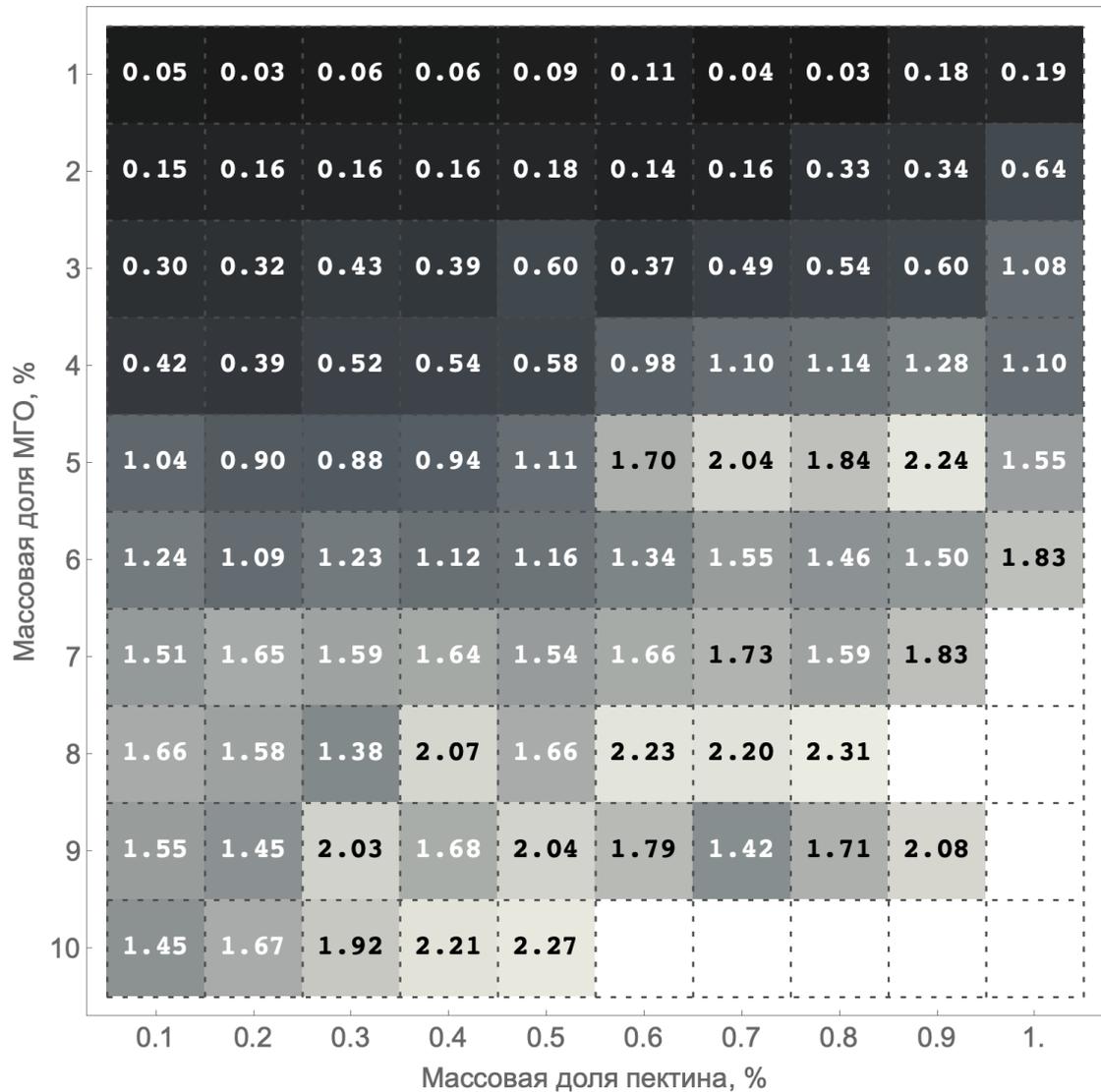


Рисунок 3.25 – Коэффициент скорости сдвига в уравнениях зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига

Реологический коэффициент хорошо коррелирует с внесением муки грецкого ореха, что наглядно продемонстрировано на Рисунке 3.26.

На Рисунке 3.27, показано, что коэффициент динамической вязкости не коррелирует ни с одним органолептическим параметром, даже с оценкой консистенции.

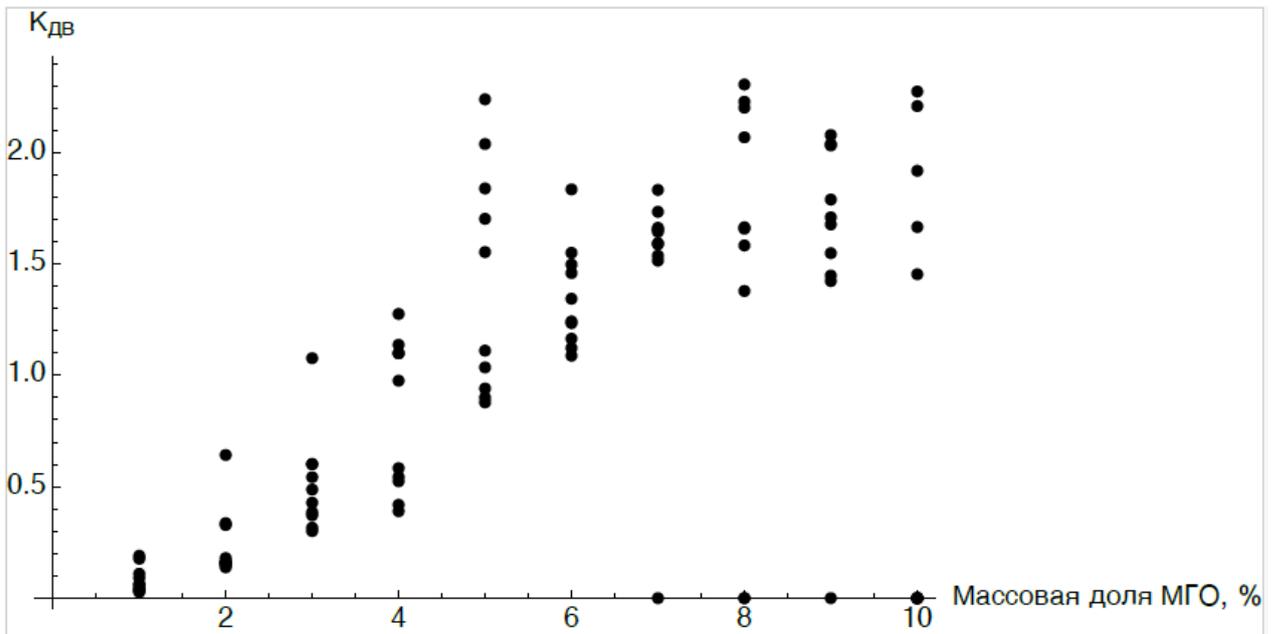


Рисунок 3.26 – Зависимость реологического коэффициента от дозы внесения МГО

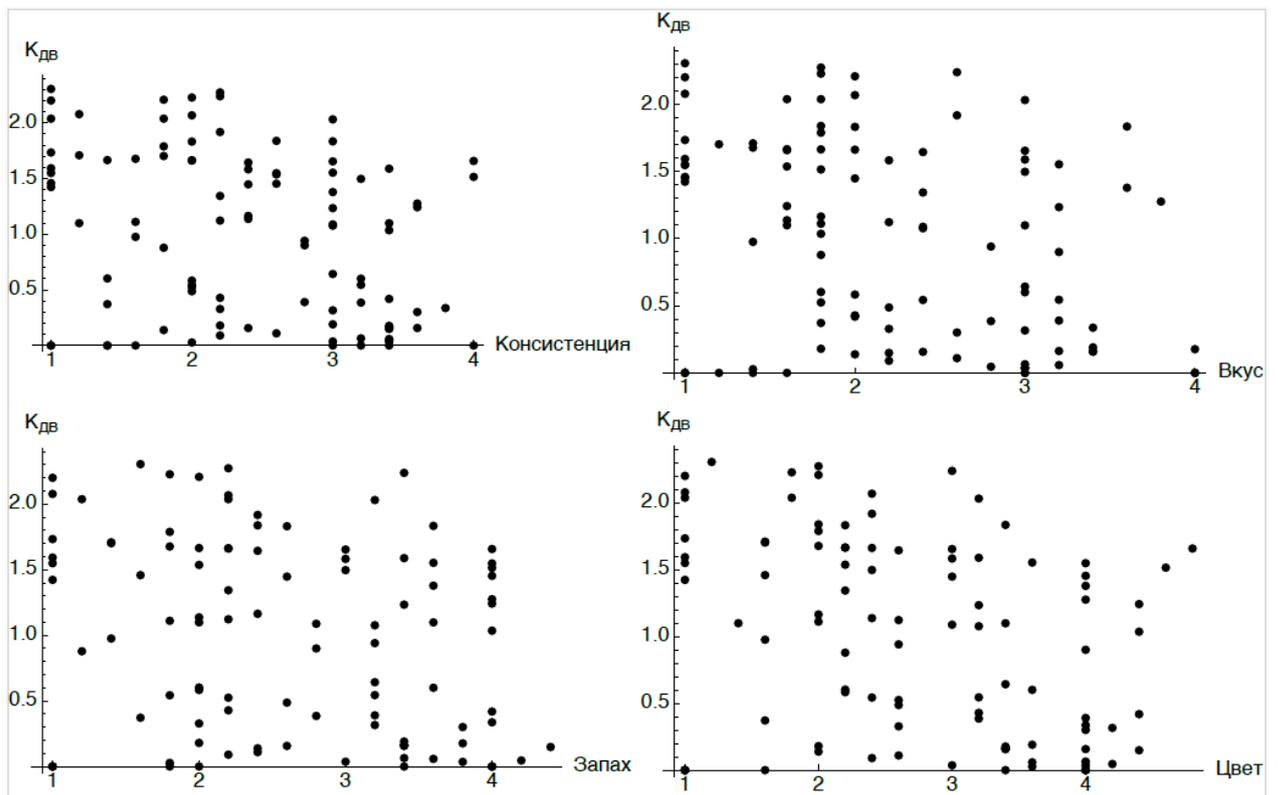


Рисунок 3.27 – Корреляция реологических оценок

При этом, оценки по вкусу, консистенции, цвету и запаху сильно коррелируют с коэффициентом практически линейно (Рисунок 3.28):

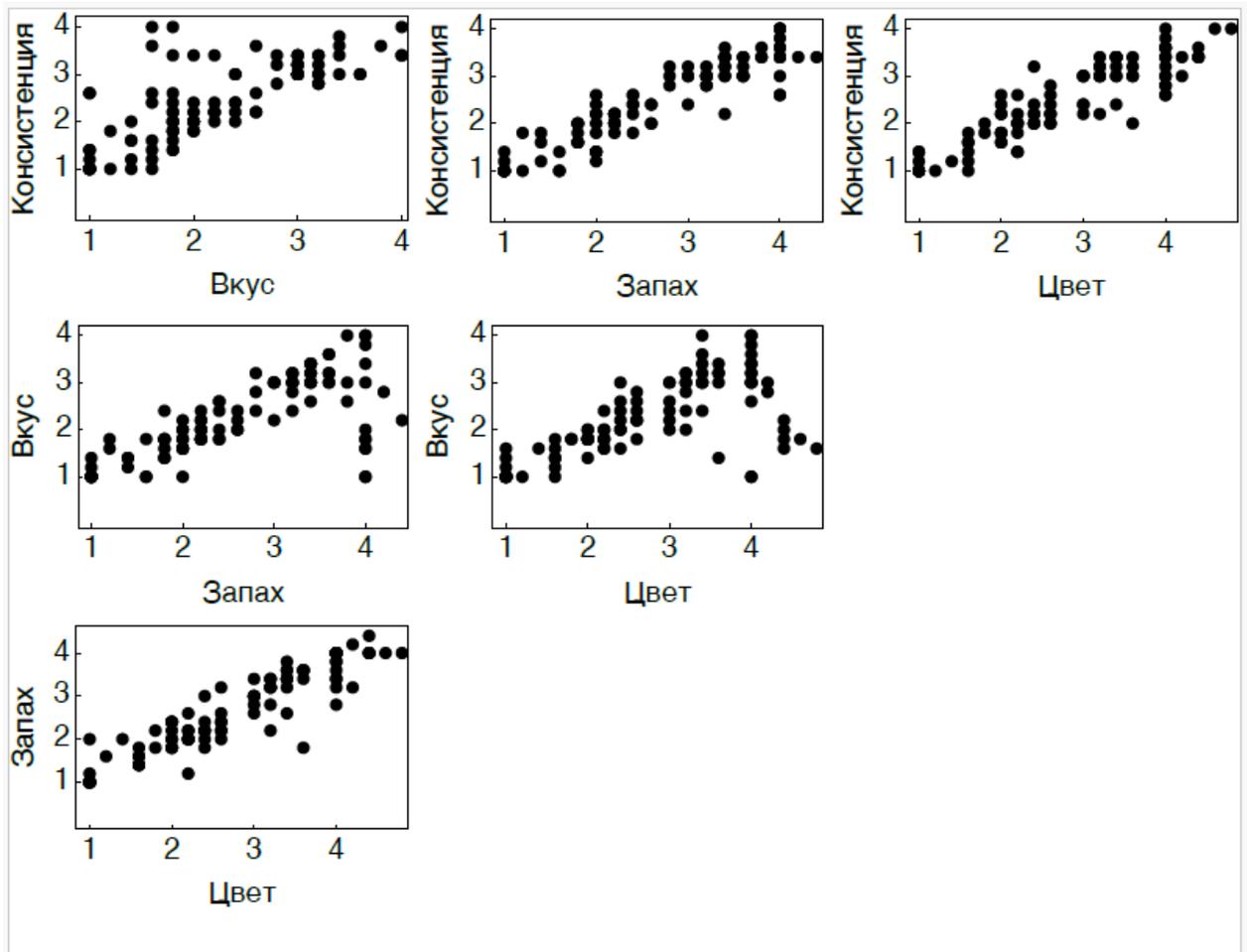


Рисунок 3.28 – Корреляция органолептических оценок

Вид органолептических оценок от внесения ингредиентов представлен на Рисунке 3.29.

Был сделан вывод, что для расчета оптимальных параметров внесения, реологическими параметрами можно пренебречь, из всех органолептических параметров для расчетов можно оставить вкус, как наиболее представляющий интерес (в силу корреляции всех параметров со всеми, это допущение имеет место).

Для интерполяции значений вкуса воспользуемся двухкомпонентным методом: первый компонент будет отображать общий тренд и представляться линейной регрессией параметров внесения (x – внесение пектина, y – внесение муки грецкого ореха):

$$f(x, y) = 1.5 + 15.2x - 36.9x^2 + 24.6x^3 - 0.19y - 0.14xy - 0.043x^2y + 0.02y^2 + 0.017xy^2 - 0.0014y^3$$

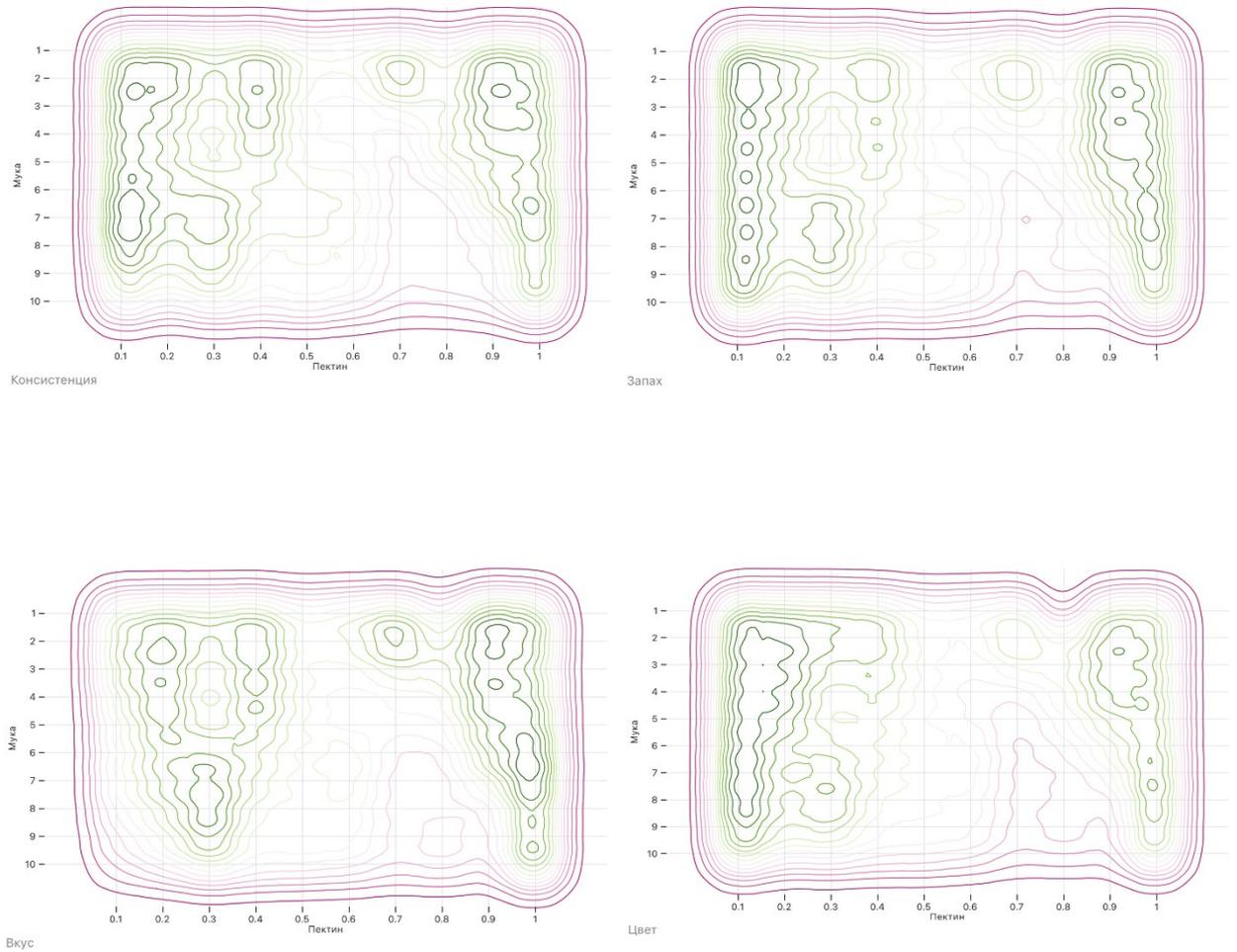


Рисунок 3.29 – Вид органолептических оценок от внесения ингредиентов

Так как на графике вкуса явно выделяются два пика, имеет смысл применить метод радиальных базисных функций для их отображения, выделив два гауссовых ядра:

$$\ker(x, y) = 3.2e^{-34.72(-0.31+x)^2-0.61(-7.9+y)^2} + 3.8e^{-61.72(-0.88+x)^2-0.347(-4.1+y)^2}.$$

Результирующая интерполяция вкуса от внесения ингредиентов представляет собой сумму $f(x, y) + \ker(x, y)$, ее вид изображен на графике (синими точками отмечены экспериментальные данные).

В результате математических расчетов показано, что оптимальными для дальнейшей работы являются интервалы внесения (Рисунок 3.30):

0,2-0,4 г пектина + 7-9 г муки грецкого ореха;

0,9-1 г пектина + 5-7 г муки грецкого ореха.

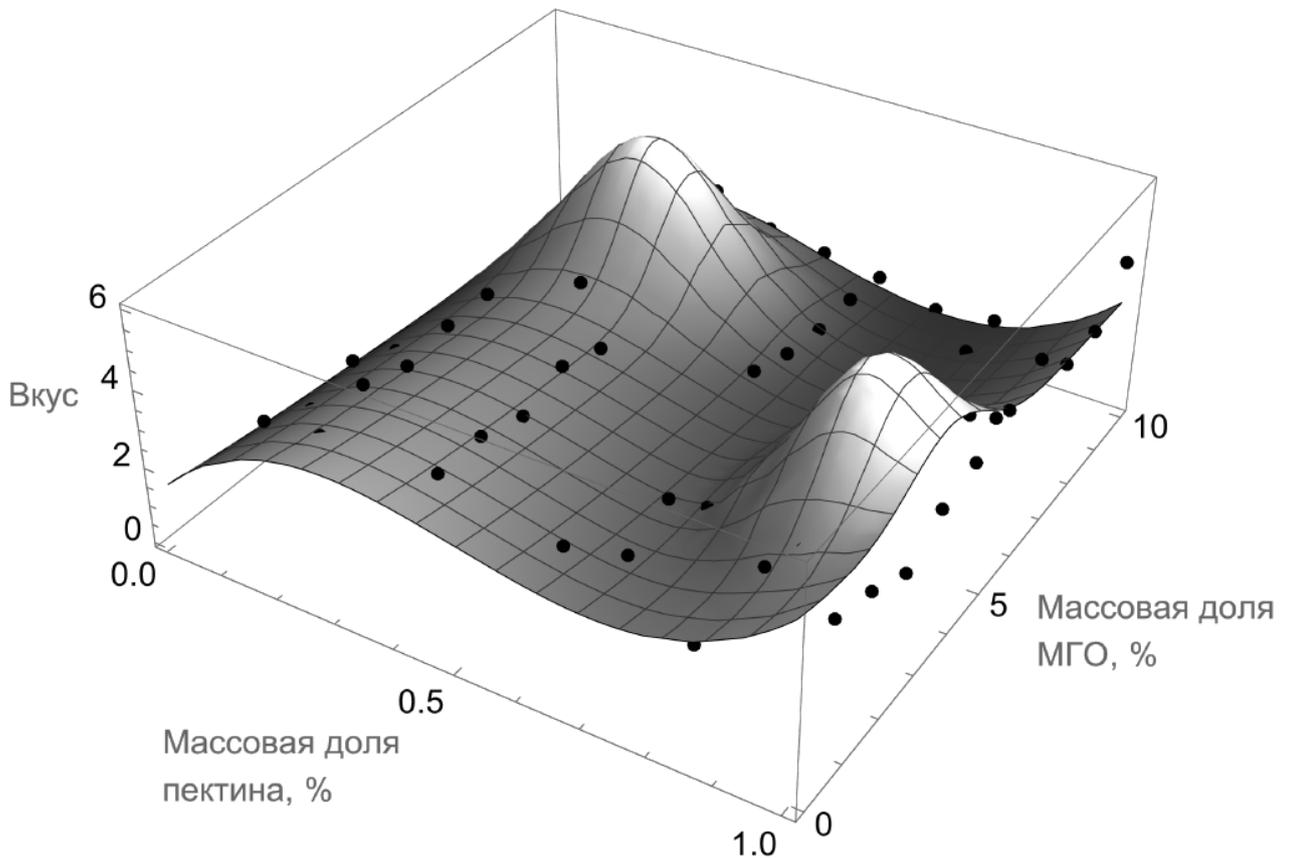


Рисунок 3.30 – Оптимальные интервалы внесения компонентов

3.9 Определение математической зависимости критической массовой доли пектина от массовой доли МГО

Для каждой экспериментальной точки по полученным ранее уравнениям зависимости динамической вязкости от скорости сдвига было рассчитано значение динамической вязкости при скорости сдвига 50 с^{-1} (Рисунок 3.31).

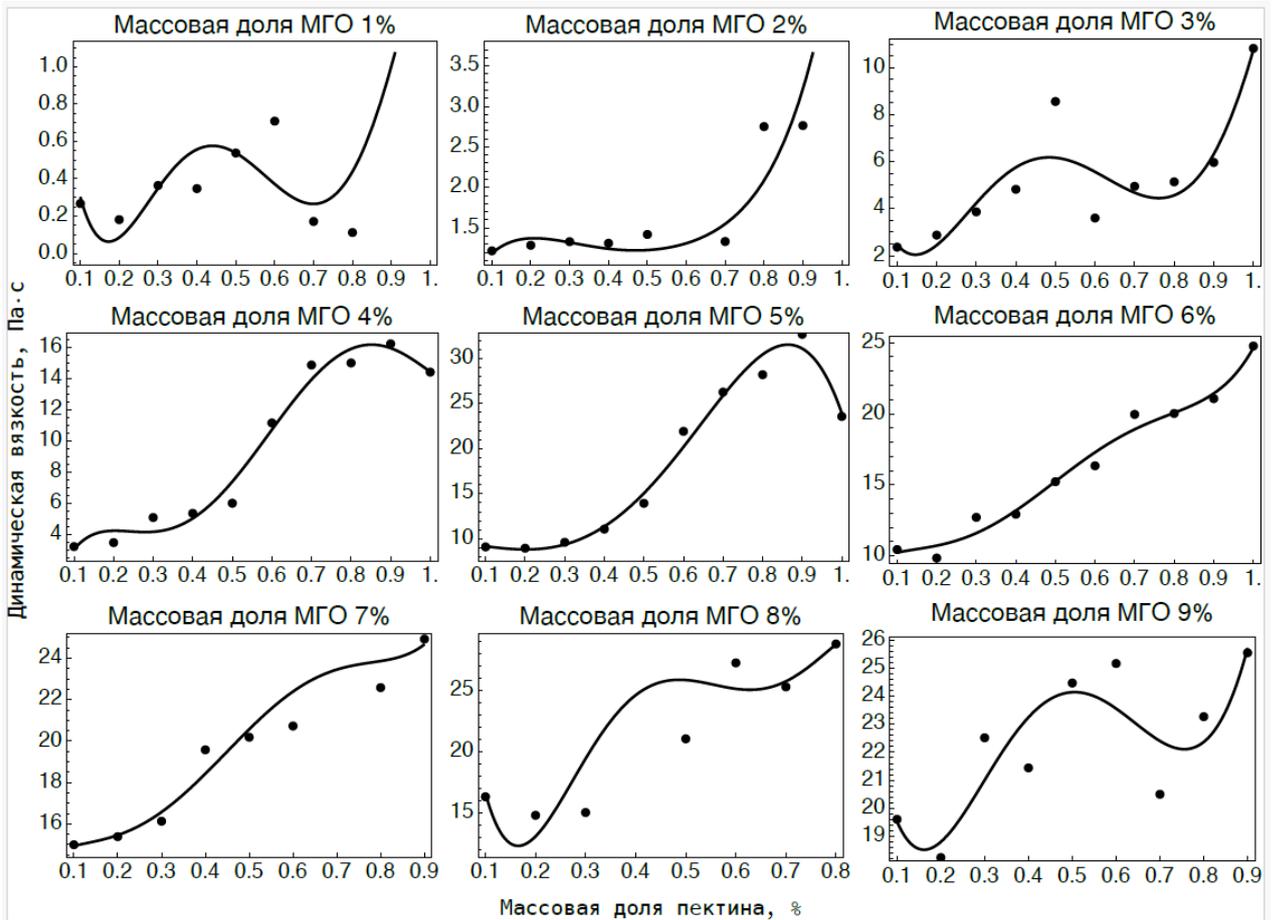


Рисунок 3.31 – Динамическая вязкость систем при фиксированной скорости сдвига

На основании анализа экспериментальных данных, полученных при фиксированной скорости сдвига 50 с^{-1} , была установлена количественная зависимость между критической массовой долей пектина и массовой долей МГО. В качестве критерия для определения критической концентрации пектина использовалось значение максимума первой производной аппроксимирующей функции в интервале массовой доли пектина от 0 до 1 %. Таким образом, критическая концентрация соответствовала точке наибольшего прироста вязкости системы в ответ на увеличение содержания пектина при фиксированном уровне МГО. Данный подход позволяет интерпретировать критическую концентрацию пектина как переходный порог, за которым достигается максимальный вклад пектина в формирование реологической структуры пищевой матрицы выходного продукта.

Методика определения представлена на Рисунке 3.32, где показан принцип расчёта производной и выбор максимального значения, а результирующие экспериментальные точки и соответствующее сглаживающее уравнение отображены на Рисунке 3.33. Полученные критические комбинации массовых долей МГО и пектина могут рассматриваться как оптимальные условия для достижения требуемых реологических характеристик, включая повышение вязкости, модификацию текстурных свойств и устойчивость дисперсной системы.

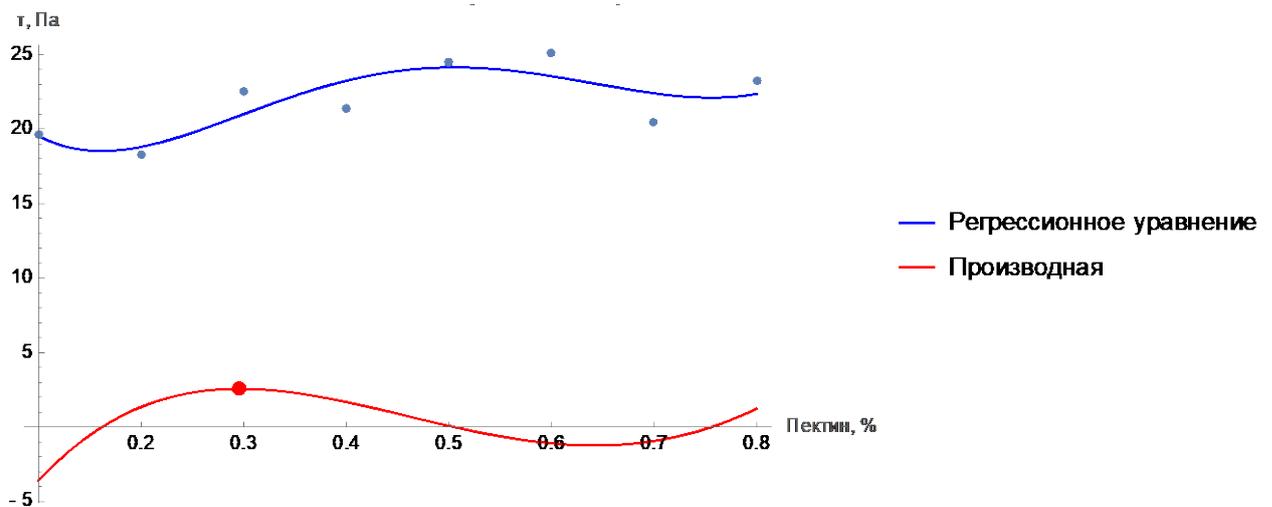


Рисунок 3.32 – Влияние массовой доли пектина на динамическую вязкость при МГО 9,0 %.

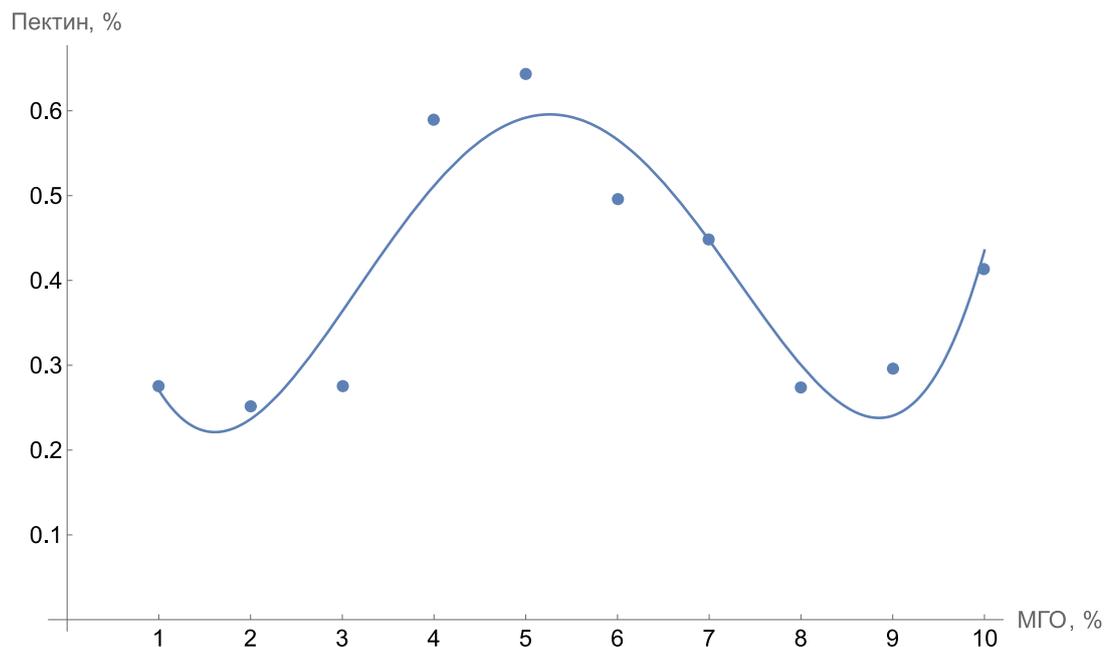


Рисунок 3.33 – Критические значения массовой доли пектина

Уравнение регрессии для критических значений пектина от МГО имеет вид:

$$y = 13.161667 - 6.40489x + 1.47889x^2 - 0.11184x^3 + 0.00267x^4$$

На основании полученной зависимости рассчитывали границу областей максимального и минимального темпов приращения динамической вязкости (как значение массовой доли пектина, при котором значение производной равно среднему от максимального и минимального её значения на интервале) - критическую массовую долю пектина.

На основании совокупности полученных значений критической массовой доли пектина определяли математическую зависимость критической массовой доли пектина от массовой доли МГО (регрессия со статистикой коэффициентов и всей зависимости в целом) (Рисунок 3.34).

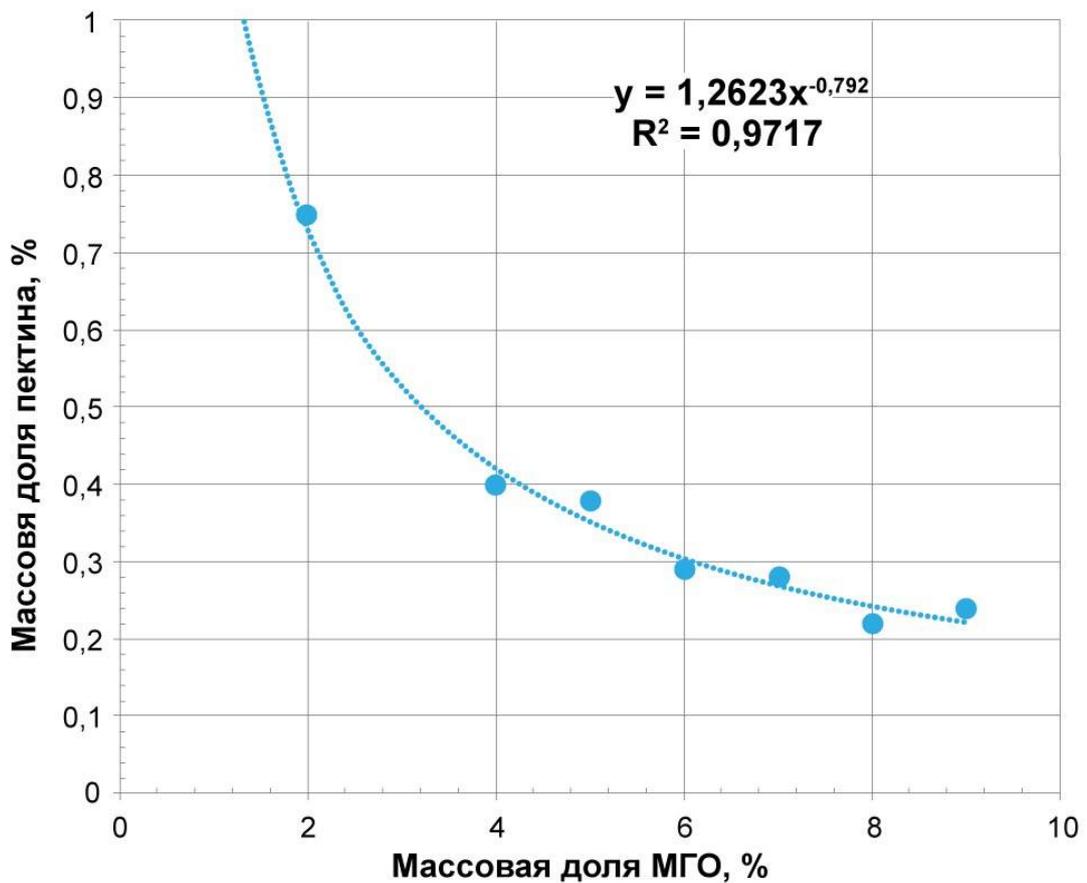


Рисунок 3.34 – Зависимость массовой доли пектина от массовой доли МГО

Чем выше значение массовой доли МГО, тем меньше должна быть концентрация пектина, чтобы сформировать устойчивую систему без выраженного влияния на вязкость. В отличие от систем, приготовленных на обычном молоке, в системах на топленом молоке, отсутствует установленная ранее константа произведения концентраций пектина и МГО в критических точках (точках границы перехода). Согласно представленной на рисунке кривой по степени перехода вязкости в критическую интервал варьирования массовых долей пектина составил от 0,22 до 0,44 % (серединые значения были с разным шагом между двумя крайними значениями).

3.10 Эмпирический подбор массовой доли псиллиума в системе молоко-пектин-МГО

На основании полученных ранее критических точек были составлены рецептуры, представленные в Таблице 3.11 Интервал варьирования концентраций псиллиума составил от 0,1 до 1,0 %. Профилограммы органолептической оценки выработанных образцов напитка представлены на Рисунке 3.35. На основании результатов первичной органолептической (визуальной) оценки после проведения опытной выработки было установлено, что рецептурные варианты 1.7, 1.8, 1.9 и 1.10, содержащие соответственно 0,7; 0,8; 0,9 и 1,0% псиллиума, не соответствуют заданным требованиям к структурно-механическим характеристикам разрабатываемого продукта. Указанные образцы характеризовались избыточным повышением вязкости и формированием чрезмерно плотной структуры, что противоречило целевым параметрам – получению киселеобразной, текуче-пластичной консистенции. В связи с этим данные варианты были исключены из дальнейшего рецептурного анализа, а последующие экспериментальные выработки проводились в интервале концентраций псиллиума от 0,1 до 0,6%.

Графическое представление функции желательности, адаптированной к исследуемым системам, приведено на Рисунке 3.36.

Таблица 3.11 – Рецептуры экспериментальных образцов

| № п/п | Массовая доля топлёного молока, % | Массовая доля пектина, % | Массовая доля муки грецкого ореха, % | Массовая доля псиллиума, % | Вода, % |
|-------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------|
| 1.1 | 50 | 0,44 | 3,8 | 0,1 | 45,7 |
| 1.2 | 50 | 0,44 | 3,8 | 0,2 | 45,6 |
| 1.3 | 50 | 0,44 | 3,8 | 0,3 | 45,5 |
| 1.4 | 50 | 0,44 | 3,8 | 0,4 | 45,4 |
| 1.5 | 50 | 0,44 | 3,8 | 0,5 | 45,3 |
| 1.6 | 50 | 0,44 | 3,8 | 0,6 | 45,2 |
| 1.7 | 50 | 0,44 | 3,8 | 0,7 | 45,1 |
| 1.8 | 50 | 0,44 | 3,8 | 0,8 | 45 |
| 2.1 | 50 | 0,35 | 5,1 | 0,1 | 44,5 |
| 2.2 | 50 | 0,35 | 5,1 | 0,2 | 44,4 |
| 2.3 | 50 | 0,35 | 5,1 | 0,3 | 44,3 |
| 2.4 | 50 | 0,35 | 5,1 | 0,4 | 44,2 |
| 2.5 | 50 | 0,35 | 5,1 | 0,5 | 44,1 |
| 2.6 | 50 | 0,35 | 5,1 | 0,6 | 44 |
| 3.1 | 50 | 0,29 | 6,4 | 0,1 | 43,3 |
| 3.2 | 50 | 0,29 | 6,4 | 0,2 | 43,2 |
| 3.3 | 50 | 0,29 | 6,4 | 0,3 | 43,1 |
| 3.4 | 50 | 0,29 | 6,4 | 0,4 | 43 |
| 3.5 | 50 | 0,29 | 6,4 | 0,5 | 42,9 |
| 3.6 | 50 | 0,29 | 6,4 | 0,6 | 42,8 |
| 4.1 | 50 | 0,25 | 7,2 | 0,1 | 42,5 |
| 4.2 | 50 | 0,25 | 7,2 | 0,2 | 42,4 |
| 4.3 | 50 | 0,25 | 7,2 | 0,3 | 42,3 |
| 4.4 | 50 | 0,25 | 7,2 | 0,4 | 42,2 |
| 4.5 | 50 | 0,25 | 7,2 | 0,5 | 42,1 |
| 4.6 | 50 | 0,25 | 7,2 | 0,6 | 42 |
| 5.1 | 50 | 0,22 | 9 | 0,1 | 40,7 |
| 5.2 | 50 | 0,22 | 9 | 0,2 | 40,6 |
| 5.3 | 50 | 0,22 | 9 | 0,3 | 40,5 |
| 5.4 | 50 | 0,22 | 9 | 0,4 | 40,4 |
| 5.5 | 50 | 0,22 | 9 | 0,5 | 40,3 |
| 5.6 | 50 | 0,22 | 9 | 0,6 | 40,2 |

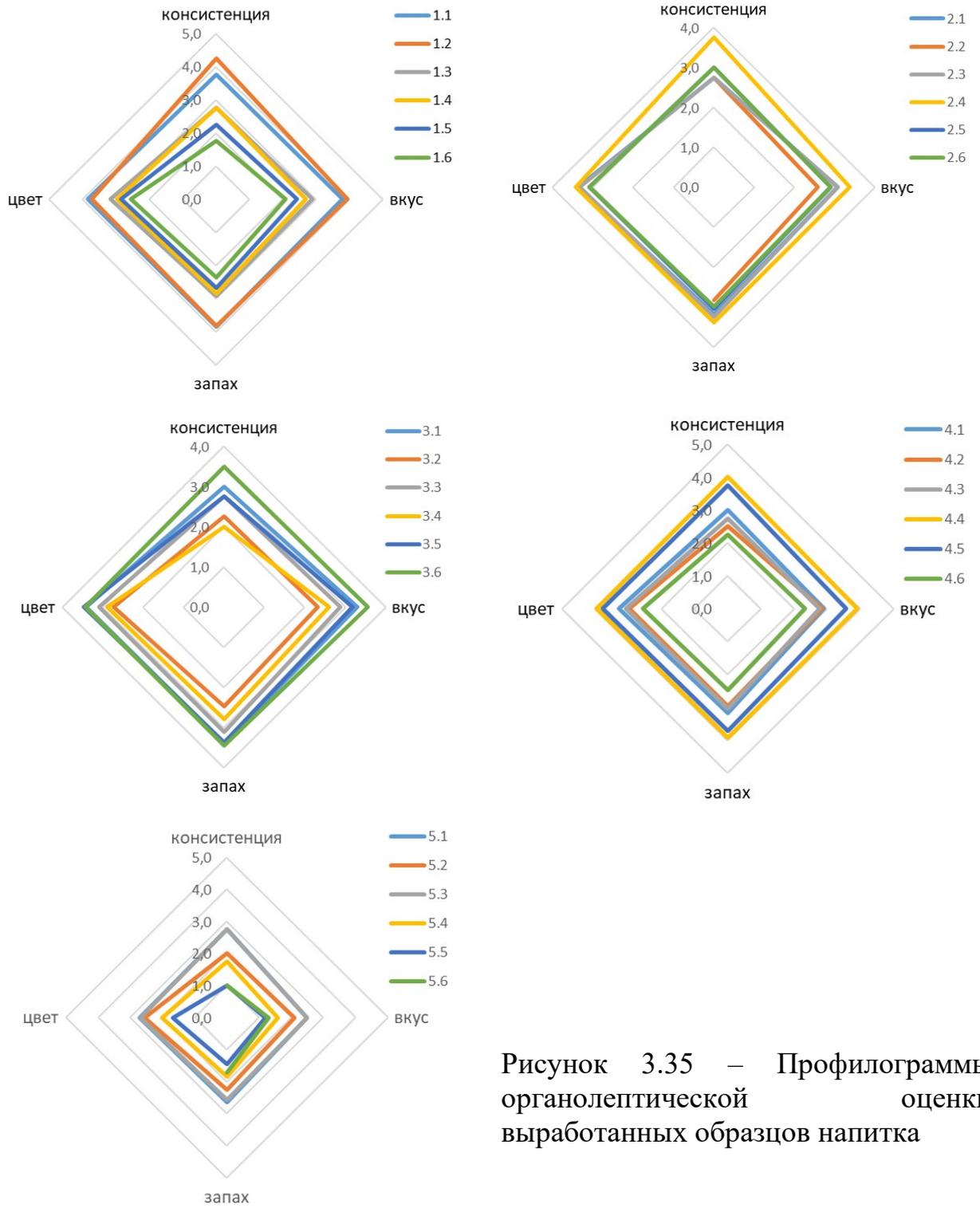


Рисунок 3.35 – Профилограммы органолептической оценки выработанных образцов напитка

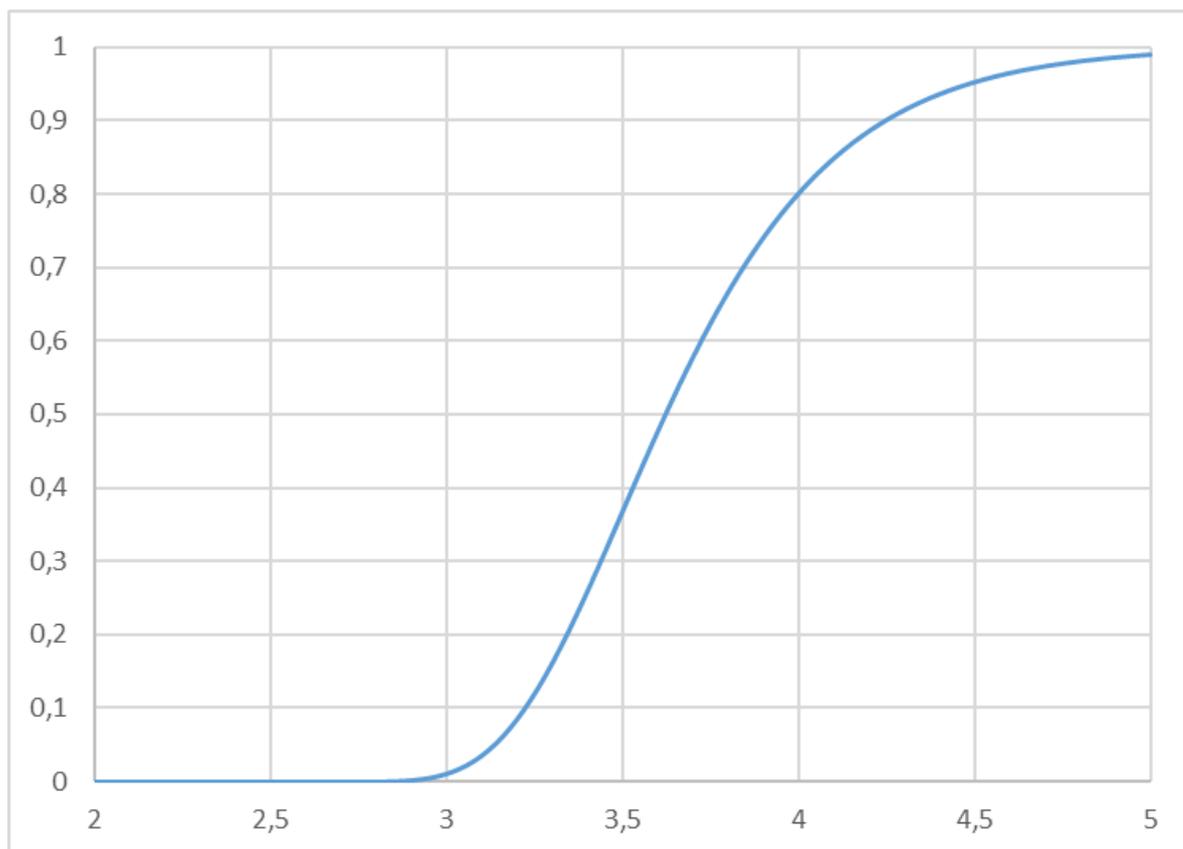


Рисунок 3.36 – Экспериментальные данные функции желательности

Для каждого экспериментального образца по каждому из анализируемых показателей, представленных в Таблице 3.12, были рассчитаны индивидуальные значения частных функций желательности. На следующем этапе для каждого образца определяли среднее геометрическое значение, которое рассматривалось в качестве интегрального показателя, характеризующего обобщённую функцию желательности.

Таблица 3.12 – Значения функции желательности Харрингтона

| № | Бальная оценка | | | | D | | | | D _{ср} |
|-----|----------------|-----|-----|-----|----------|----------|----------|----------|-----------------|
| | К | В | З | Ц | К | В | З | Ц | |
| 1.1 | 3,8 | 3,8 | 4,0 | 3,8 | 0,666012 | 0,666012 | 0,8001 | 0,666012 | 0,697265 |
| 1.2 | 4,0 | 3,6 | 3,6 | 3,4 | 0,8001 | 0,476759 | 0,476759 | 0,259242 | 0,465974 |
| 1.3 | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 4,0 | 0,000282 | 0,011289 | 0,085406 | 0,8001 | 0,021606 |
| 1.4 | 2,6 | 2,6 | 3,2 | 3,4 | 3,4E-07 | 3,4E-07 | 0,085406 | 0,259242 | 0,000225 |
| 1.5 | 2,4 | 2,6 | 3,2 | 3,4 | 1,63E-12 | 3,4E-07 | 0,085406 | 0,259242 | 1,05E-05 |
| 1.6 | 2,0 | 2,0 | 3,4 | 3,4 | 7,04E-40 | 7,04E-40 | 0,259242 | 0,259242 | 1,35E-20 |
| 1.7 | 3,0 | 2,8 | 3,0 | 3,0 | 0,011289 | 0,000282 | 0,011289 | 0,011289 | 0,00449 |
| 1.8 | 2,2 | 3,2 | 3,6 | 2,6 | 3,29E-22 | 0,085406 | 0,476759 | 3,4E-07 | 4,62E-08 |

Окончание таблицы 3.12

| | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|----------|----------|----------|----------|-----------------|
| 2.1 | 2,8 | 3,2 | 3,6 | 4,0 | 0,000282 | 0,085406 | 0,476759 | 0,8001 | 0,055078 |
| 2.2 | 2,6 | 2,4 | 3,4 | 2,6 | 3,4E-07 | 1,63E-12 | 0,259242 | 3,4E-07 | 4,7E-07 |
| 2.3 | 3,0 | 3,4 | 3,6 | 3,4 | 0,011289 | 0,259242 | 0,476759 | 0,259242 | 0,137908 |
| 2.4 | 3,6 | 2,8 | 3,6 | 3,6 | 0,476759 | 0,000282 | 0,476759 | 0,476759 | 0,074383 |
| 2.5 | 3,2 | 2,8 | 3,4 | 3,2 | 0,085406 | 0,000282 | 0,259242 | 0,085406 | 0,027034 |
| 2.6 | 3,2 | 2,8 | 3,2 | 3,4 | 0,085406 | 0,000282 | 0,085406 | 0,259242 | 0,027034 |
| 3.1 | 3,0 | 3,6 | 3,6 | 3,4 | 0,011289 | 0,476759 | 0,476759 | 0,259242 | 0,160598 |
| 3.2 | 2,2 | 2,4 | 3,2 | 3,4 | 3,29E-22 | 1,63E-12 | 0,085406 | 0,259242 | 1,86E-09 |
| 3.3 | 2,8 | 3,0 | 3,6 | 3,0 | 0,000282 | 0,011289 | 0,476759 | 0,011289 | 0,011446 |
| 3.4 | 2,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,29E-22 | 0,085406 | 0,085406 | 0,085406 | 6,73E-07 |
| 3.5 | 2,8 | 3,6 | 4,0 | 3,6 | 0,000282 | 0,476759 | 0,8001 | 0,476759 | 0,084661 |
| 3.6 | 3,4 | 3,6 | 3,2 | 3,4 | 0,259242 | 0,476759 | 0,085406 | 0,259242 | 0,228717 |
| 4.1 | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 4,0 | 0,011289 | 0,085406 | 0,259242 | 0,8001 | 0,118918 |
| 4.2 | 2,6 | 3,2 | 3,2 | 3,0 | 3,4E-07 | 0,085406 | 0,085406 | 0,011289 | 0,002301 |
| 4.3 | 2,8 | 2,8 | 3,6 | 3,4 | 0,000282 | 0,000282 | 0,476759 | 0,259242 | 0,009965 |
| 4.4 | 4,0 | 3,8 | 4,0 | 4,0 | 0,8001 | 0,666012 | 0,8001 | 0,8001 | 0,764238 |
| 4.5 | 3,8 | 3,4 | 4,0 | 4,0 | 0,666012 | 0,259242 | 0,8001 | 0,8001 | 0,576592 |
| 4.6 | 2,2 | 2,4 | 3,0 | 2,8 | 3,29E-22 | 1,63E-12 | 0,011289 | 0,000282 | 2,03E-10 |
| 5.1 | 2,8 | 2,0 | 3,2 | 3,0 | 0,000282 | 7,04E-40 | 0,085406 | 0,011289 | 3,72E-12 |
| 5.2 | 2,0 | 2,4 | 2,6 | 3,8 | 7,04E-40 | 1,63E-12 | 3,4E-07 | 0,666012 | 4,02E-15 |
| 5.3 | 2,6 | 2,4 | 3,0 | 2,8 | 3,4E-07 | 1,63E-12 | 0,011289 | 0,000282 | 1,15E-06 |
| 5.4 | 1,8 | 1,2 | 2,8 | 2,6 | 4,41E-72 | 0 | 0,000282 | 3,4E-07 | 0 |
| 5.5 | 1,0 | 1,4 | 2,4 | 2,4 | 0 | 1E-237 | 1,63E-12 | 1,63E-12 | 0 |
| 5.6 | 1,0 | 1,8 | 2,8 | 2,4 | 0 | 4,41E-72 | 0,000282 | 1,63E-12 | 0 |

(Примечание: *K* – показатель консистенции, *B* – вкусовые характеристики, *З* – запах, *Ц* – цвет, *D* – обобщённая функция желательности)

По результатам комплексной многокритериальной оценки установлено, что образец 4.4 характеризуется наилучшим сочетанием органолептических и структурно-механических показателей и, следовательно, может быть принят в качестве оптимального варианта рецептурного состава, обеспечивающего формирование заданной киселеобразной консистенции.

3.11 Разработка технологического процесса получения напитка с киселеобразной консистенцией

Финальным этапом проведения работы стала разработка технологической схемы и процесса производства напитка. Рецепттура, согласно которой изготавливался напиток, представлена в таблице 3.13. Компонентный состав рецептуры определен в процессе исследований и окончательно сформирован по результатам статистической обработки (Таблица 3.12).

Таблица 3.13 – Рецепттура напитка

| Наименование компонента | Количество компонента, кг/1000 кг |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Молоко топленое | 500,0 |
| Вода | 421,5 |
| МГО | 72,0 |
| Псиллиум | 4,0 |
| Пектин | 2,5 |
| Итого | 1000,0 |

Технологический процесс состоял из следующих операций:

- подготовка сырья и компонентов;
- очистка молока;
- гомогенизация молока;
- пастеризация и топление молока;
- охлаждение молока и внесение пектина;
- перемешивание;
- охлаждение и внесение муки грецкого ореха и псиллиума;
- диспергирование;
- пастеризация смеси;
- охлаждение;
- упаковывание и маркирование.

На первом этапе технологического процесса были тщательно подготовит все компоненты, входящие в рецептуру. Молоко, подогретое до температуры (43 ± 2) °С, очищали на центробежном сепараторе-молокоочистителе.

Сухие компоненты, каждый по отдельности, тщательно просеивали через сито для удаления возможных механических примесей и мелких комочков.

Вода, используемая при получении продукта, отвечала требованиям ГОСТ Р 51232-98 и СанПиН 2.1.4.1074-01. В случае отклонений по бактериальным показателям или при повышенной жесткости проводили предварительную очистку путем обезвреживания хлорированием или озонированием, или термическим способом (воду пастеризуют, охлаждают и фильтруют).

Очищенное молоко гомогенизировали при давлении $(15,0\pm 2,5)$ МПа и температуре 75 °С. Очищенное и гомогенизированное молоко пастеризовали при температуре (97 ± 2) °С и приступали к топлению. Топление молока проводили до момента появления выраженного светло-коричневого цвета, продолжительность выдерживания составила 3 часа 20 минут. Во время проведения процесса топления молоко перемешивали каждый час, включая мешалку на 2 мин для предотвращения образования на поверхности пенки, состоящих из белка и жира.

В отдельную емкость с рубашкой, оснащенную мешалкой, с заранее подогретой дистиллированную водой до температуры 60 °С, вносили пектин далее поддерживали эту температуру смеси на водяной бане в течении 30 минут при постоянном перемешивании. После смесь воды и пектина охлаждали до 40 °С и добавляли в топленое молоко, охлажденное до такой же температуры. Далее смесь топленого молока, воды и пектина выдерживали 30 минут при 40 °С при постоянном перемешивании.

На следующем этапе технологического процесса в смесь топленого молока и пектина вносили МГО и тщательно перемешивали в течение 15 минут, спустя 15 минут вносили псиллиум и перемешивали ещё 15 минут. Поскольку предварительные лабораторные исследования показали ограниченную растворимость некоторых сухих компонентов, например, МГО, для

минимизации рисков расслоения продукта или оседания дисперсионной фазы в процессе хранения и, как следствие, ухудшения потребительских характеристик, было решено пропустить полученную смесь через центробежный триблендер. Далее проводилась пастеризация смеси при температуре (80 ± 2) °С в течение 5 минут. Для проведения тепловой обработки смеси была использована трубчатая пастеризационная установка, поскольку использование пластинчатого пастеризатора дает дополнительные риски прилипания и пригорания дисперсных частиц к пластинам установки. Далее готовый напиток охлаждали до температуры 20 °С и направляли на упаковывание. Продукт упаковывался в прозрачные бутылки из полистирола емкостью 0,5 л, затем помещался в холодильную камеру и хранился при температуре (4 ± 2) °С в течение всего срока наблюдения. Технологическая схема производства напитка представлена на Рисунке 3.37.

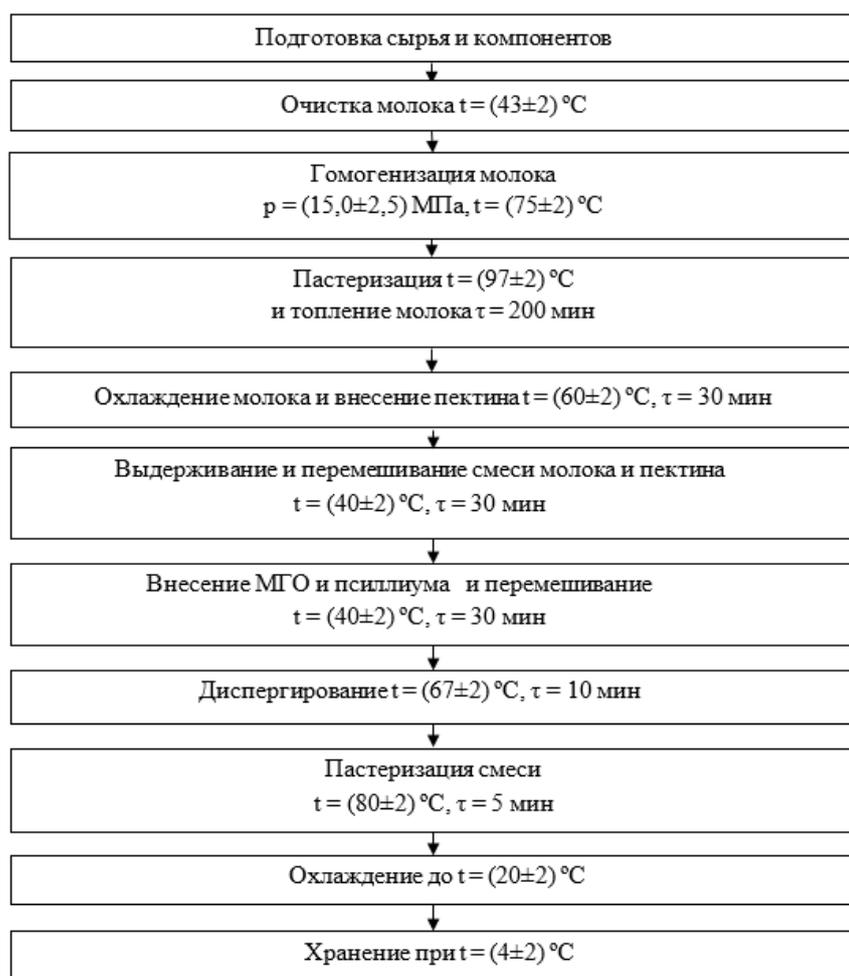


Рисунок 3.37 – Технологическая схема производства напитка

Далее были определены сроки годности напитка, для этого в процессе хранения, контролировались физико-химические и органолептические показатели (Таблица 3.14, 3.15). Также согласно алгоритму, изложенному в МУК 4.2.1847–04 по установлению сроков годности, отбирались пробы на исследование микробиологических показателей, ориентируясь на нормы для молочного напитка, прописанные в ТР ТС 033 «О безопасности молока и молочных продуктов (Таблица 3.16).

Таблица 3.14 – Физико-химические показатели напитка

| Наименование показателя | Значение показателя |
|---------------------------------|---------------------|
| Массовая доля жира, % | 3,2±0,8 |
| Массовая доля белка, % | 2,5±0,3 |
| Массовая доля углеводов, % | 2,4±0,3 |
| Массовая доля сухих веществ, % | 12,6±0,7 |
| Активная кислотность, единиц рН | 6,6±0,04 |

При этом дегустаторами не выявлено отклонений и изменений в органолептическом профиле напитка на протяжении всего времени наблюдения (Таблица 3.15). Незначительное оседание частиц муки грецкого ореха по истечению 20 суток является допустимым.

Однако микробиологический контроль выявил на 20-е сутки хранения незначительное превышение количества бактерий группы кишечной палочки, что говорит о необходимости прекращения хранения напитка (Таблица 1.16).

С учетом коэффициента резерва 1,3 регламентированным МУК 4.2.1847–04, рекомендованный срок годности напитка составил 15 суток. Однако стоит учитывать, что при проведении опытной выработки не использовался асептический розлив, и при условии его наличия, согласно действующему законодательству, срок годности напитка может быть продлен предприятием в установленном порядке.

Таблица 3.15 – Органолептические показатели напитка

| Наименование показателя | Периодичность контроля | | | | |
|----------------------------|--|-----------|---------------|---------------|--|
| | Сутки хранения | | | | |
| | Фон | 5-е сутки | 10-е сутки | 15-е сутки | 20-е сутки |
| Внешний вид и консистенция | Вязкая, текучая, киселеобразная с видимым включением мелких частиц муки грецкого ореха | | | | Незначительное оседание частиц муки грецкого ореха |
| Вкус и запах | Ореховый, с привкусом топленного молока | | | | |
| Цвет | Бежевый, равномерный по всей массе | | | | |

Таблица 3.16 – Микробиологические показатели напитка

| Наименование показателя | Норма по ТР ТС 033 | Периодичность контроля | | | | |
|---|---------------------------|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | Сутки хранения | | | | |
| | | Фон | 5-е сутки | 10-е сутки | 15-е сутки | 20-е сутки |
| Общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г | Не более $1,0 \cdot 10^5$ | $1,5 \cdot 10^3$ | $2,2 \cdot 10^3$ | $2,8 \cdot 10^3$ | $3,2 \cdot 10^3$ | $1,4 \cdot 10^4$ |
| Бактерии группы кишечных палочек, в 0,1 г | - | Не обн. | Не обн. | Не обн. | Не обн. | Не обн. |
| Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонелла, в 25,0 г | Не доп. | Не обн. | Не обн. | Не обн. | Не обн. | Не обн. |
| Стафилококки <i>S.aureus</i> , в 1,0 г | Не доп. | Не обн. | Не обн. | Не обн. | Не обн. | Не обн. |
| <i>Листерии</i> <i>L.monocytogenes</i> , в 25,0 г | Не доп. | Не обн. | Не обн. | Не обн. | Не обн. | Не обн. |

На напиток молочный с мукой грецкого ореха оформлены технические условия на напиток молочный с мукой грецкого ореха «Киселаكتис» (ТУ 10.51.56-112-00419785-2025) (Приложение Б) и проведено внедрение на производство (Приложение В, Г).

3.12 Экономические и социальные эффекты от внедрения поликомпонентного напитка на молочной основе киселеобразной консистенции без сахара

Напитки с высоким содержанием сахарозы, в том числе на молочной основе, имеют низкую себестоимость. Подобная себестоимость обеспечивается за счет низкой цены основных компонентов, простоты рецептуры и технологии приготовления, а также возможность только добавлением «сахара» гарантировать привычный вкус с высокой привлекательностью готового напитка. Вместе с тем существенная доля ассортимента данной группы снижается за счёт продуктов, в состав которых не входят добавленные сахара. Это повышает их пищевую и биологическую ценность, не ограничивает возможности использования в рационе лиц, ориентированных на специализированное питание. Однако, данный сегмент напитков имеет априорно выше себестоимость [25, 26, 126].

Современный этап развития пищевой промышленности характеризуется устойчивым смещением акцента от массовых продуктов с высокой энергетической плотностью к специализированным пищевым решениям, ориентированным на поддержание здоровья и профилактику алиментарно обусловленных заболеваний. Данная тенденция в наибольшей степени проявляется на рынке безалкогольных напитков, в том числе продукции, изготавливаемой на молочной основе. Для проведения предварительного анализа с целью определения экономического и социального эффектов выбран сегмент «здорового питания», который исключает содержание в рецептуре сахара и других «быстрых» углеводов.

С экономической точки зрения целесообразность разработки несладких напитков с его потенциальной принадлежностью к сегменту «здоровой продукции» с повышенной пищевой ценностью определяет потребительскую

готовность к покупать такие продукты по цене на 30-40% выше традиционных [22].

Ввиду ограниченного предложение на рынке киселеобразных напитков на молочной основе, подтвержденного анализом рынка, в основу анализа сравнения использована типовая рецептура киселя без добавления сахара с привлекательными потребительскими свойствами. С целью повышения привлекательности готового продукта для потребителя, производители данного сегмента напитков вынуждены добавлять дорогостоящие растительные компоненты (ягоды, фрукты, орехи), подсластители и стабилизаторы (Таблица 3.17).

Таблица 3.17 – Примерная калькуляция себестоимости киселя по типовой рецептуре

| № | Статья затрат | Массовая доля, % | Расход на 1000 г | Ориентировочная цена за 1 кг, руб. | Сумма, руб. |
|----|---------------------------------|---------------------------|------------------|------------------------------------|-------------|
| 1 | Жмых ореха (кедрового) | 15 | 150 | 800-1000 | 120-150 |
| 2 | Крахмал картофельный | до 60 | 600 | 60 | 39 |
| 3 | Сушеная ягода (клубника) | 8 | 80 | 800-1200 | 64-96 |
| 4 | Мальтодекстрин | 5 | 50 | 150 | 7,5 |
| 5 | Подсластители | 2 | 20 | 1000 | 20 |
| 6 | Пектин | 1,5 | 15 | 1000 | 15 |
| 7 | Натуральный краситель (свекла) | 0,5 | 5 | 2000 | 10 |
| 8 | Ароматизаторы | 0,3 | 3 | 2500 | 7,5 |
| 9 | Аскорбиновая кислота | 0,2 | 2 | 800 | 1,6 |
| | ИТОГО сырье | ~102 (с учетом влажности) | ~975 | | ~285-347 |
| 10 | Упаковка (пакет с zip-lock) | | | | 8-15/шт. |
| 11 | Накладные расходы | 35% от прямых | | | ~100-121 |
| 12 | Прочее | | | | ~50 |
| | Полная себестоимость 1 кг смеси | | | | ~442-533 |

Себестоимость 1 кг сухой смеси подобного киселя на малых и средних производственных объемах выпуска может находиться в пределах 488±45 рублей. Ориентировочная себестоимость 1 кг готового продукта будет

находиться в диапазоне 252-300 руб., включая прямые затраты на производство (энергоносители, ФОТ, упаковка и прочее) около 230 рублей и включение 50% накладных затрат от прямых

Производство готового напитка молочного с мукой грецкого ореха «Киселактис» имеет ориентировочную полную производственную себестоимость 215-222 руб./кг (Таблица 3.18).

Таблица 3.18 – Сравнительная таблица анализа затрат на производство молочного напитка «Киселактис»

| № | Статья затрат | Массовая доля, % | Расход на 1000 г | Ориентировочная цена за 1 кг, руб. | Сумма, руб. |
|----|-----------------------------|------------------|------------------|------------------------------------|-------------|
| 1 | Молоко сухое 1,5% | 50 | 500 | 200 | 100 |
| 2 | Вода | 42,1 | 421 | 0,05 | 0,02 |
| 3 | Жмых МГО | 7,2 | 72,0 | 350 | 25,2 |
| 4 | Псиллиум | 0,4 | 4,0 | 1500 | 6 |
| 5 | Пектин АРС201У | 0,3 | 3,0 | 1600 | 4,8 |
| | ИТОГО сырье | ~100 | ~1000 | | ~136 |
| 10 | Упаковка (пакет с zip-lock) | | | | 8-15/шт. |
| 11 | Накладные расходы | 30% от прямых | | | ~52-60 |
| 12 | Прочее | | | | ~30 |
| | Полная себестоимость 1 кг | | | | ~215-222 |

Использование ореховой муки в рецептуре обоих примеров напитков обеспечивает формирование комплексного нутритивного профиля за счёт содержания растительных липидов, пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ. При этом ореховый компонент выполняет не только питательную, но и технологическую функцию, способствуя формированию устойчивых органолептических характеристик без необходимости применения сахара или интенсивных подсластителей. При этом существуют и значимые различия, которые напрямую влияют на себестоимость продукта. Так в рецептуру «Киселактис» нет необходимости добавлять дорогостоящие компоненты для повышения вкусовых характеристик. Привлекательные вкусовые свойства получены за счет гармоничного сочетания молочной основы и муки грецкого ореха (Таблица 3.19).

Таблица 3.19 – Сравнительная таблица анализа затрат

| Параметр | Кисель на растительной основе (жмых кедрового ореха) | Напиток молочный с МГО «Киселаكتис» |
|--|---|--|
| Основа продукта | Растительная (жмых, крахмал) | Молочно-растительная |
| Ключевые дорогостоящие компоненты | 1. Мука кедрового ореха 2. Сушеные ягоды 3. Комплекс подсластителей 4. Пектин | 1. Молоко сухое восстановленное 2. Мука грецкого ореха 3. Пектин специализированный APC201Y |
| Уникальные добавки | Аскорбиновая кислота (E300), Подсластители, Экстракт свеклы или прочие натуральные красители | Псиллиум, как источник растворимой клетчатки |
| Технологические затраты на обработку | Стандартные | Стандартные |
| Позиционирование | Здоровое питание, безлактозное | Здоровое питание, в т.ч. при метаболических нарушениях и повышенном весе |
| Структура прямых материальных затрат (сырье) | Жмых кедрового ореха, сушеная ягода, добавки для улучшения вкусовых характеристик продукта (60-80% стоимости сырья) | Молоко сухое (40% стоимости сырья), жмых муки грецкого ореха (20%), псиллиум и пектин (вместе 15%) |

Производство напитка «Киселаكتис» не требует принципиально новых технологических решений по сравнению с традиционными молочными производствами. Ключевым отличием является дополнительный этап равномерного распределения ореховой муки в молочной среде с последующей гомогенизацией, что может быть реализовано на базе существующих линий с минимальными изменениями. Таким образом, проект отличается низким уровнем технологических рисков и может быть внедрён на действующих предприятиях молочной промышленности без масштабной реконструкции производственных мощностей (Приложение В).

Экономическая оценка затрат выполнена на основе укрупнённой калькуляции, отражающей структуру расходов на производство одной порции готового продукта, представлена в Таблице 3.20. При схожем позиционировании на рынке «здоровых напитков» без использования сахара в рецептуре, «Киселаكتис» имеет меньшую потенциальную себестоимость на 17-35%.

Таблица 3.20 – Сводная таблица сравнения себестоимости молочного напитка «Киселактис» и киселя на растительной основе

| | | |
|--|--|--|
| Параметр | Кисель на растительной основе (жмых кедрового ореха) | Напиток молочный с грецким орехом «Киселактис» |
| Ключевое уникальное торговое предложение (УТП) | Суперфуд, натуральный продукт без сахара | Уникальный суперфуд, натуральный молочный напиток без сахара |
| Ценные компоненты | Орех, ягоды | Молочная основа, МГО, псиллиум |
| Целевая аудитория | Премиум ЗОЖ, специальная диета, спортсмены | ЗОЖ, диета при метаболических нарушениях, восполнение белка и микроэлементов |
| Технологическая сложность | средняя | средне-высокая |
| Себестоимость на 1 кг готового продукта | 252-300 руб. | 215-222 руб. |
| Предполагаемая розничная цена 1 упаковки готового продукта (200 г) | 150-180 руб. | 120-135 руб. |

Социальная значимость внедрения безсахарных напитков на молочной основе определяется их потенциальным вкладом в формирование структуры рационального питания населения и снижении негативных последствий, связанных с избыточным потреблением добавленных сахаров. В условиях роста распространённости алиментарно-зависимых заболеваний особую актуальность приобретает разработка пищевых продуктов, способных выполнять не только питательную, но и профилактическую функцию.

С точки зрения затрат в системе здравоохранения, внедрение и расширение производства молочных напитков без сахара формирует долгосрочный экономический эффект, связанный с профилактикой заболеваний, лечение которых требует значительных бюджетных расходов. Снижение частоты развития ожирения и сахарного диабета второго типа позволяет уменьшить

затраты на медикаментозную терапию, диспансерное наблюдение и лечение осложнений, включая сердечно-сосудистые и нефрологические патологии [22].

Экономический эффект для здравоохранения проявляется также в снижении косвенных потерь, связанных с временной утратой трудоспособности и снижением производительности труда. Улучшение структуры питания способствует повышению общего уровня физической и когнитивной активности населения трудоспособного возраста, что опосредованно влияет на экономический рост и устойчивость социальной системы [21].

С позиции государственной политики в области здравоохранения и продовольственной безопасности производство «здоровых напитков» на молочной основе соответствует приоритетам, направленным на повышение качества питания населения и снижение нагрузки на систему здравоохранения. Включение подобных продуктов в программы корпоративного питания, образовательных и медицинских учреждений может рассматриваться как элемент комплексных профилактических мер, не требующих значительных дополнительных бюджетных затрат. Экономический эффект для здравоохранения в данном случае носит накопительный характер и реализуется в средне- и долгосрочной перспективе, что делает рассматриваемое направление особенно перспективным в контексте устойчивого развития общества [103].

В результате проведённого технико-экономического анализа установлено, что внедрение напитка молочного с грецким орехом «Киселактис» является обоснованным как с экономической, так и с социальной точки зрения. Проект характеризуется приемлемым уровнем затрат, высокой рентабельностью и соответствует современным направлениям развития пищевой индустрии, ориентированной на повышение качества питания населения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обобщения и систематизации теоретических данных и экспериментальных исследований разработана и апробирована в производственных условиях технология производства фитолактатного киселя, как элемента национального кода России. Полученный продукт характеризуется низким гликемическим индексом, что обуславливает целесообразность его включения в структуру общих и специализированных рационов питания для нутрициологической коррекции рациона.

1. Систематизированы данные по состоянию рынка напитков киселеобразной консистенции, применяемым технологиям и ингредиентам, обеспечивающим достижение свойственных этой группе продукции органолептических характеристик, прежде всего, консистенции; выявлена необходимость разработки напитков с пониженным гликемическим индексом, обоснованы перспективные растительные компоненты для получения фитолактатных напитков – мука орехоплодных, пектины и псиллиум.

2. Математически смоделированы и экспериментально подтверждены рациональные композиции растительных компонентов (мука грецкого ореха, пектин, псиллиум), способствующие получению киселеобразной консистенции в поликомпонентных модельных системах с учетом влияния базовых термомеханических процессов технологии.

3. Установлены зависимости формирования физико-химических и органолептических характеристик, в частности киселеобразной консистенции, поликомпонентных систем на молочной основе в зависимости от композиционных особенностей моделей-аналогов разрабатываемого продукта. Показано, что добавление псиллиума в молочную основу с мукой грецкого ореха вызвало неаддитивное изменение её реологических свойств в присутствии ионов кальция, что вызвало необходимость введения низкоэтерифицированного

пектина, частично нивелирующего влияние поливалентных катионов на процессы гелеобразования.

4. Разработана математическая модель соотношения компонентов в системе «молоко - мука грецкого ореха (МГО) - псиллиум – пектин» с последующим экспериментальным обоснованием количеств вносимого псиллиума для получения стабильных продуктовых матриц. Определены следующие значения соотношений 50,0 / 3,54 / 0,31 / 0,2; которые получили экспериментальное подтверждение с выводом о необходимости корректировки органолептических свойств.

5. Обосновано применение топленого молока в технологии фитолактатного киселя и получены новые данные по формированию/динамике физико-химических показателей систем с избыточной термической обработкой на органолептические и реологические характеристики получаемых поликомпонентных продуктов. Органолептическая оценка напитков, приготовленных на молоке и на топленом молоке показала ощутимое преимущество последних. Определен оптимальный состав напитка на топленом молоке: массовая доля МГО – 7,2 %, массовая доля псиллиума – 0,4 %, массовая доля пектина – 0,25 %.

6. Разработана технология фитолактатного киселя с низким гликемическим индексом и документ по стандартизации на напиток молочный «Киселактис», проведено промышленное внедрение разработанной технологии. Определено, что при позиционировании на рынке «здоровых напитков» со схожими продуктами рецептурная матрица напитка «Киселактис» имеет до 35,0% меньшую себестоимость.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

МГО – мука грецкого ореха

Пс – псиллиум

Б – белок

Ж – жир

ПВ – пищевые волокна

УВ – углеводы

МН – метаболические нарушения

СН – сладкие напитки

ПП – пищевые продукты

ВЭ – высокоэтерифицированный пектин

НЭ – низкоэтерифицированный пектин

СПФ – сывороточно-полисахаридная фракция молока

БЛФ – белково-липидная фракция молока

ПЕРЕЧЕНЬ ВВЕДЕННЫХ ТЕРМИНОВ

Фитолактатный продукт – продукт на молочной основе, содержащий рецептурно необходимые растительные ингредиенты

Киселеобразная консистенция – специфическая вязкотекучая консистенция, свойственная традиционному напитку кисель, произведенному на молочной и/или фруктовой основе с использованием крахмала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метаболический синдром как актуальная проблема здравоохранения (аналитический обзор) / Н. М. Агарков, А. А. Титов, С. И. Корнеева [и др.] // Здравоохранение Российской Федерации. – 2023. – Т. 67, № 2. – С. 136-141. – DOI 10.47470/0044-197X-2023-67-2-136-141. – EDN PUBLXN.
2. Кунцевич, А. К. Риск метаболического синдрома и питание населения / А. К. Кунцевич // Ожирение и метаболизм. – 2015. – Т. 12, № 1. – С. 3-10. – DOI 10.14341/ОМЕТ201513-10. – EDN TQNXAD.
3. Напольский, И. Н. Персонализированное питание для профилактики и лечения метаболических заболеваний: возможности и перспективы / И. Н. Напольский, П. В. Попова // Российский журнал персонализированной медицины. – 2022. – Т. 2, № 1. – С. 15-34. – DOI 10.18705/2782-3806-2022-2-1-15-34. – EDN YVMIVH.
4. Метаболическое здоровье населения: современный взгляд на проблему и пути ее решения / Г. А. Чумакова, Т. Ю. Кузнецова, М. А. Дружилов, О. В. Гриценко // Российский кардиологический журнал. – 2024. – Т. 29, № 5. – С. 7-15. – DOI 10.15829/1560-4071-2024-5896. – EDN CSYSEM.
5. Подзолков, В. И. Нарушение содержания микроэлементов и металлов в крови у больных с метаболическим синдромом в зависимости от его компонентов / В. И. Подзолков, Т. В. Королева, М. Г. Кудрявцева // Терапевтический архив. – 2019. – Т. 91, № 10. – С. 70-75. – DOI 10.26442/00403660.2019.10.000342. – EDN АКАЕJS.
6. Болотова, Н.В., Филина Н.Ю., Симакова И.В., Петрухина Е.А. Значение микро- и макроэлементов в развитии метаболических нарушений у детей. Взгляд эндокринолога / Н. В. Болотова, Н. Ю. Филина, И. В. Симакова, Е. А. Петрухина // Практическая медицина. 2021. –Т. 19, № 5. – С. 21-26 – DOI: 10.32000/2072-1757-2021-5-21-26

7. Соколов, А. Ю. Управление качеством концентрированных киселей для профессионального питания / А. Ю. Соколов, Н. А. Акимова // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – 2020. – Т. 17, № 6(114). – С. 208-214. – DOI 10.21686/2413-2829-2020-6-208-214. – EDN HSZVRN.

8. Метаболический синдром: современные представления, критерии диагностики и принципы диетотерапии / Х. Х. Шарафетдинов, М. В. Зейгарник, Б. С. Каганов [и др.] // Вопросы диетологии. – 2015. – Т. 5, № 4. – С. 4-14. – EDN VKPTXB.

9. Шарафетдинов, Х. Х. Ожирение как глобальный вызов XXI века: лечебное питание, профилактика и терапия / Х. Х. Шарафетдинов, О. А. Плотникова // Вопросы питания. – 2020. – Т. 89, № 4. – С. 161-171. – DOI 10.24411/0042-8833-2020-10050. – EDN MRVXEJ.

10. Volek, J. S. Carbohydrate restriction improves the features of Metabolic Syndrome. Metabolic Syndrome may be defined by the response to carbohydrate restriction / J. S. Volek, R. D. Feinman // Nutrition & Metabolism. – 2005. – Vol. 2, No. 1. – P. 1-17. – DOI 10.1186/1743-7075-2-31. – EDN VCCVOU.

11. Sugar-Sweetened Beverages and Risk of Metabolic Syndrome and Type 2 Diabetes / V. S. Malik, B. M. Popkin, G. A. Bray [et al.] // Diabetes Care. – 2010. – Vol. 33, №11. – P. 2477-2483. –DOI 10.2337/dc10-1079

12. Deshpande, G. Frequent Sugar-Sweetened Beverage Consumption and the Onset of Cardiometabolic Diseases: Cause for Concern? /G. Deshpande, R. F. Mapanga, M. F. Essop // Journal of the Endocrine Society. – 2017. – Vol. 1, № 11. – P. 1372-1385. – DOI 10.1210/js.2017-00262

13. Sugar reduction in beverages: Current trends and new perspectives from sensory and health viewpoints / L. Chen, W. Wu, Na. Zhang [et al.] // Food Research International. – 2022. – Vol. 162. – P. 112076. – DOI 10.1016/j.foodres.2022.112076. – EDN PMSMRA.

14. Яшин, А. Н. Актуальность разработки обогащенных микроэлементами продуктов питания для диетотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях /

А. Н. Яшин, А. Н. Петров // Пищевые системы. – 2023. – Т. 6, № 3. – С. 272-278. – DOI 10.21323/2618-9771-2023-6-3-272-278. – EDN JJXFDY.

15. Зобкова, З. С. Оценка антиоксидантных свойств обогащенного кисломолочного продукта с повышенной биологической ценностью / З. С. Зобкова, Е. Г. Лазарева // Пищевая промышленность. – 2021. – № 8. – С. 51-53. – DOI 10.52653/PPI.2021.8.8.013. – EDN WYUMHC.

16. Шендеров, Б. А. Функциональное питание и его роль в профилактике метаболического синдрома / Б. А. Шендеров ; Б. А. Шендеров. – Москва : Дели принт, 2008. – 318 с. – ISBN 978-5-94343-166-1. – EDN QLRPLT.

17. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы / В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская, Д. В. Рисник [и др.] // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86, № 4. – С. 113-124. – EDN ZFTKLT.

18. Быковская, Е. И. Обогащение продуктов питания белками, микронутриентами как основа оптимизации рациона питания населения / Е. И. Быковская, И. В. Минакова // Молодежь и XXI век - 2019 : материалы IX Международной молодежной научной конференции, Курск, 21–22 февраля 2019 года. Том 3. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2019. – С. 215-219. – EDN YZUFYD.

19. Получение гранулированных быстрорастворимых киселей на основе молочной сыворотки и растительного сырья / А. Л. Майтаков, Л. Н. Берязева, Н. Т. Ветрова, К. Б. Плотников // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 2-3(374-375). – С. 38-42. – DOI 10.26297/0579-3009.2020.2-3.10. – EDN ESPHIC.

20. Руководство ВОЗ по потреблению сахаров. – URL: <https://www.who.int/ru/news/item/04-03-2015-who-calls-on-countries-to-reduce-sugars-intake-among-adults-and-children> (дата обращения 28.03.2025).

21. Коновалова, О. В. Кисели в лечебно - профилактическом питании / О. В. Коновалова, А. А. Попов, В. В. Гурин // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 3. – С. 83-84. – EDN IJMOTH.

22. Effects of dietary fiber on subjective appetite, energy intake and body weight: a systematic review of randomized controlled trials / A. Wanders, J. van den Borne, C. de Graaf [et al.] // *Obesity Reviews*. – 2011. – Vol. 12, №9. – P. 724-39. DOI 10.1111/j.1467-789X.2011.00895.x.

23. Lambeau, K. V. Fiber supplements and clinically proven health benefits: How to recognize and recommend an effective fiber therapy /K. V. Lambeau, JW Jr. McRorie // *Journal of the American Association of Nurse Practitioners*. – 2017. – Vol. 29, №4. – P. 216-223. DOI 10.1002/2327-6924.12447.

24. Неделько, А. Ю. Ориентация потребителя на здоровое питание: обзор литературы и разработка модели согласования интересов участников рынка / А. Ю. Неделько, О. А. Третьяк // *Российский журнал менеджмента*. – 2019. – Т. 17, № 2. – С. 203-232. – DOI 10.21638/spbu18.2019.204. – EDN LNWIKY.

25. Юдин, С. А. Рекламное продвижение на рынке здорового питания / С. А. Юдин // *Молодёжь третьего тысячелетия : Сборник научных статей XLVII региональной студенческой научно-практической конференции*. В 2-х частях, Омск, 01 апреля – 15 2023 года. Том Часть 1. – Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2023. – С. 841-843. – EDN LQQMSH.

26. Яшин, А. Н. Кисель с низким гликемическим индексом. Обзор рынка РФ / А. Н. Яшин, Е. Ю. Агаркова // *Поландовские чтения : Сборник материалов VI международной научно-практической молодежной конференции*, Москва, 05 июня 2024 года. – Москва: ООО "Белый Ветер", Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности, 2024. – С. 159-165. – EDN NDKSTU.

27. Рыболовская, В. В. Определение химического состава и пищевой ценности коровьего молока / В. В. Рыболовская // *Наука молодых : Материалы региональной межвузовской студенческой научно-практической конференции*, Орел, 09 июня 2022 года. – Орел: Общество с ограниченной ответственностью полиграфическая фирма «Картуш», 2022. – С. 215-220. – EDN GWQWMD.

28. Górska-Warsewicz, H. Milk and Dairy Products and Their Nutritional Contribution to the Average Polish Diet / H. Górska-Warsewicz, K. Rejman, W.

Laskowski, M. Czeczotko // *Nutrients*. – 2019. – Vol. 11, № 8. — P. 1771. DOI 10.3390/nu11081771.

29. Thorning, T. K. Milk and dairy products: good or bad for human health? An assessment of the totality of scientific evidence / T. K., A. Raben, T. Tholstrup // *Food & Nutrition Research*. – 2016. – Vol. 60, №1. – P. 32527. DOI 10.3402/fnr.v60.32527

30. Кудрина, М. А. Пищевая ценность коровьего молока / М. А. Кудрина, И. С. Кожевникова, Н. А. Худякова // *Вестник КрасГАУ*. – 2022. – № 12(189). – С. 229-236. – DOI 10.36718/1819-4036-2022-12-229-236. – EDN TSNXFJ.

31. Донская, Г. А. Антиоксидантные свойства молока и молочных продуктов: обзор / Г. А. Донская // *Пищевая промышленность*. – 2020. – № 12. – С. 86-91. – DOI 10.24411/0235-2486-2020-10150. – EDN XNCFER.

32. Горбатова, К. К. Биохимия молока и молочных продуктов : учебник для студентов среднего профессионального образования, обучающихся по специальности 260303.52 "Технология молока и молочных продуктов" / К. К. Горбатова, П. И. Гунькова ; К. К. Горбатова, П. И. Гунькова. – 4-е изд., перераб. и доп.. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2010. – ISBN 978-5-98879-112-6. – EDN QKTEOL.

33. Идеи академика Владимира Дмитриевича Харитонов в наукоемких технологиях переработки молока. – Москва : Федеральное государственное автономное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», 2021. – 268 с. – ISBN 978-5-6043854-6-3. – DOI 10.37442/978-5-6043854-6-3. – EDN YVTFOV.

34. Догарева, Н. Г. Физико-химические и биохимические процессы при производстве и хранении молочных продуктов : учебное пособие для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 19.04.03 и 19.03.03 Продукты питания животного происхождения / Н. Г. Догарева, М. В. Клычкова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский

государственный педагогический университет". — Оренбург : ОГУ, 2019. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : цв. : 12 см.; ISBN 978-5-7410-1511-7.

35. Юрова, Е. А. Молоко как основа для производства специализированных продуктов питания с улучшенными нутритивными свойствами / Е. А. Юрова, С. А. Фильчакова, Н. В. Ананьева // Вестник КрасГАУ. — 2022. — № 5(182). — С. 206-215. — DOI 10.36718/1819-4036-2022-5-206-215. — EDN XZJZBW.

36. Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов / А. Г. Галстян, Л. М. Аксенова, А. Б. Лисицын [и др.] // Вестник Российской академии наук. — 2019. — Т. 89, № 5. — С. 539-542. — DOI 10.31857/S0869-5873895539-542. — EDN RDUVCVH.

37. Роль технологических свойств сухого молока в формировании качества пищевых систем / А. Г. Кручинин, Е. Е. Илларионова, А. В. Бигаева, С. Н. Туровская // Вестник КрасГАУ. — 2020. — № 8(161). — С. 166-173. — DOI 10.36718/1819-4036-2020-8-166-173. — EDN OGXCZG.

38. Сучкова, Е. П. Технология молока и молочных продуктов. Технология сыра : Учебно-методическое пособие / Е. П. Сучкова, Л. А. Силантьева. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, Институт холода и биотехнологий, 2014. — 64 с. — EDN ZUZSQP.

39. Ларионов, Г. А. Физико-химические свойства и микробиологическая безопасность молока и молочных продуктов / Г. А. Ларионов, А. В. Ефимов, О. Ю. Чеченешкина // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. — 2023. — № 3(47). — С. 286-292. — DOI 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202303005. — EDN BRCFZF.

40. Кручинин, А. Г. Влияние фракционного состава казеина на технологические свойства сырого молока / А. Г. Кручинин, А. В. Бигаева, Х. Х. Гильманов // Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. — 2020. — Т. 1, № 1(1). — С. 292-297. — DOI 10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-292-297. — EDN ZDTXTD.

41. Назаров, В. В. Экспериментальное определение реологических свойств пастеризованного молока жирностью 2,5 % / В. В. Назаров // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2009. – № 4(35). – С. 32-34. – EDN KZOGXV.

42. Основные критерии качества молочно-жировых эмульсионных продуктов / А. С. Мамонтов, К. В. Старовойтова, Л. В. Терещук, М. А. Тарлюн // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – № 4(43). – С. 36-42. – EDN XELENZ.

43. Аппалонова, И. В. Исследование жирнокислотного состава липидов молока / И. В. Аппалонова, Е. А. Смирнова, Н. П. Никонорова // Пищевая промышленность. – 2012. – № 11. – С. 72-75. – EDN PEHRMJ.

44. Галстян, А. Г. Развитие научных основ и практические решения совершенствования технологий, повышения качества и расширения ассортимента молочных консервов : специальность 05.18.04 «Технология мясных, молочных и рыбных продуктов и холодильных производств» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Галстян Арам Генрихович. – Москва, 2009. – 360 с. – EDN QENYHV.

45. Неповинных, Н. В. Расширение ассортимента продуктов на основе молочной сыворотки диетического профилактического питания / Н. В. Неповинных // Вестник Международной академии холода. – 2017. – № 2. – С. 26-30. – DOI 10.21047/1606-4313-2017-16-2-26-30. – EDN ZDMURH.

46. Забодалова, Л. А. Технология молочных продуктов: современность и перспективы / Л. А. Забодалова // Вестник Международной академии холода. – 2013. – № 2. – С. 19-22. – EDN QCONYP.

47. Rheological, textural and structural properties of dairy cream as affected by some natural stabilizers / N. Biglarian, A. Rafe, S. A. Shahidi, J. M. Lorenzo // Chemical and Biological Technologies in Agriculture. – 2022. – Vol. 9, No. 1. – P. 1-16. – DOI 10.1186/s40538-022-00371-7. – EDN FXKSXS.

48. Oakenfull D., Nishinari K., Miyoshi E. A comparative study of milk gels formed with κ -carrageenan or low-methoxy pectin / D. Oakenfull, K. Nishinari, E. A. Miyoshi // *Hydrocolloids*, Elsevier Science. – 2000. – P. 153-163. – DOI 10.1016/B978-044450178-3/50080-9.

49. Хуршудян, С. А. Качество и безопасность пищевых продуктов. Трансформация понятий / С. А. Хуршудян, Н. С. Пряничникова, А. Е. Рябова // *Пищевая промышленность*. – 2022. – № 3. – С. 8-10. – DOI 10.52653/PPI.2022.3.3.001. – EDN HTCKFL

50. Шляпин, А. Ф. Разработка и оценка качества функциональных быстрорастворимых киселей : специальность 05.18.15 «Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шляпин Александр Федорович. – Кемерово, 2012. – 136 с. – EDN QFVHMN.

51. Psyllium Improves the Quality and Shelf Life of Gluten-Free Bread / С. Fratelli, F. G. Santos, D. G. Muniz [et al.] // *Foods*. – 2021. – Vol. 10, No. 5. – P. 954. – DOI 10.3390/foods10050954. – EDN YVFJPS.

52. Крючкова, К. В. Исследование возможности применения злаковой и молочно-злаковой дисперсий в производстве пресных и ферментированных напитков / К. В. Крючкова, Л. А. Забодалова // *Пищевая промышленность*. – 2018. – № 9. – С. 64-68. – EDN YAJWPR.

53. Функциональные молочные продукты, обогащенные нетрадиционными растительными компонентами / А. А. Кузнецова, А. И. Исмаилова, Д. В. Ключникова, А. В. Тарасова // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2016. – № 6-2(48). – С. 72-74. – DOI 10.18454/IRJ.2016.48.175. – EDN WAYRDN.

54. Новые технологии кисломолочных продуктов с пророщенными зернами / З. В. Пустобаева, А. К. Гумарова, Ф. Х. Суханбердина, Г. К. Ахметова // *Молодой ученый*. – 2015. – № 6-3(86). – С. 50-53. – EDN ZRJHNN.

55. Мусина, О. Н. Новые молочные продукты для здорового питания / О. Н. Мусина // Переработка молока. – 2016. – № 1(195). – С. 32-35. – EDN TSEOXW.

56. Бугаец, И. А. Разработка рецептур и оценка потребительских свойств концентратов киселей плодово-ягодных функционального назначения : специальность 05.18.15 «Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бугаец Иван Алексеевич. – Краснодар, 2008. – 22 с. – EDN NKMJOV.

57. Мелешкина, Л. Е. Производство пищевых концентратов киселей на основе зернового сырья / Л. Е. Мелешкина, А. В. Снегирева // Пищевая промышленность. – 2010. – № 2. – С. 58-59. – EDN KYQMBV.

58. Каталог крупнейших производителей псиллиума из России. – URL: https://b2b-postavki.ru/proizvoditel/psillium_russia.html?ysclid=mbw8bh9goo325722558 (дата обращения: 01.04.2025).

59. Афанасьева, М. М. Актуальность использования растительных ингредиентов в технологии кисломолочного продукта / М. М. Афанасьева, Н. В. Широкова // Инновационные технологии продуктов питания и кормов : материалы международной научно-практической конференции, пос. Персиановский, 11 февраля 2021 года. – пос. Персиановский: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный аграрный университет», 2021. – С. 6-9. – EDN RDZSVY.

60. Корниенко, П. С. Сравнительный анализ состояния и распространения ореха грецкого в мире, а также проблематика его возделывания в России / П. С. Корниенко // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2022. – № 29(192). – С. 46-58. – EDN EKVWVY.

61. Состояние рынка пектина в России и за рубежом / Н. В. Сокол, З. Н. Хатко, Л. В. Донченко, Г. Г. Фирсов // Новые технологии. – 2008. – № 6. – С. 30-35. – EDN JWCCDV.

62. Исследования химических особенностей и витаминного состава околоплодника грецкого ореха / А. С. Садуакас, А. Б. Нурыш, М. Ж. Султанова [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 3(67). – С. 277-285. – DOI 10.32786/2071-9485-2022-03-32. – EDN QVWXLK.

63. Листья грецкого ореха - перспективное йодсодержащее сырье для кондитерской промышленности / И. Б. Красина, М. А. Сквиря, Т. Н. Прудникова, Е. Н. Пушкова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2007. – № 4(299). – С. 49-50. – EDN KUVGCF.

64. . Наумова, Н. Л. О возможности модификации рецептуры хлеба "Фитнес" гречневый путем применения муки из ореха грецкого / Н. Л. Наумова, К. С. Каменева, К. В. Щевьева // Инновации и продовольственная безопасность. – 2021. – № 1(31). – С. 25-33. – DOI 10.31677/2072-6724-2021-31-1-25-33. – EDN NHOHEH.

65. Мусабекова, Г. Ш. Перспективы использование грецкого ореха в производстве спредов / Г. Ш. Мусабекова // Пищевые инновации и биотехнологии : материалы IV Международной научной конференции, Кемерово, 27 апреля 2016 года. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), 2016. – С. 608-609. – EDN VXSHAP.

66. Орлова, О. Ю. Использование грецкого ореха молочно-восковой спелости для разработки функциональных продуктов питания / О. Ю. Орлова, Ю. К. Насонова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – № 2. – С. 20. – EDN SXIWNF.

67. Берзегова А. А. химический состав плодов грецкого ореха // Новые технологии. — 2007. — Т. №4. — С. 42-43. — EDN JVVEVN.

68. Анточий О. В. Биохимическая характеристика липидно-белкового комплекса плодов грецкого ореха и лещины и разработка функциональных пищевых продуктов на их основе : Автореферат на соискание степени кандидата технических наук по специальности 03.00.0405.18.06 «Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов» / О.В. Анточий. — Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2004. — 24 с.

69. Экстракция околоплодника грецкого ореха и характеристика их фенольных соединений / М. Ж. Султанова, Х. А. Абдрахманов, Н. Акжанов [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – № 3(67). – С. 233-242. – DOI 10.32786/2071-9485-2022-03-27. – EDN NKRHBJ.

70. Крючкова В. А. Грецкий орех // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал – URL: <https://bigenc.ru/c/gretskii-orekh-3d2d70/?v=8258206>. – Дата публикации: 19.10.2022. – Дата обновления: 30.08.2023 (дата обращения: 07.04.2025).

71. Хуцишвили, М. Г. Мука грецкого ореха как растительный ингредиент в технологии обогащенного творожного продукта / М. Г. Хуцишвили, О. В. Друкер, В. В. Крючкова // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4-1(26). – С. 127-133. – EDN YLQCPF.

72. Наумова, Н. Л. О возможности модификации рецептуры хлеба "Фитнес" гречневый путем применения муки из ореха грецкого / Н. Л. Наумова, К. С. Каменева, К. В. Щевьева // Инновации и продовольственная безопасность. – 2021. – № 1(31). – С. 25-33. – DOI 10.31677/2072-6724-2021-31-1-25-33. – EDN NHOHEH.

73. Шавыркина, Н. А. Изучение процесса сквашивания молока бактериями ацидофильной палочки (*Lactobacillus acidophilus*) при добавлении муки грецкого ореха / Н. А. Шавыркина, Ю. С. Абрамова // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов,

аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 20–22 мая 2015 года / ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Бийский технологический институт (филиал). – Бийск: Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова", 2015. – С. 453-457. – EDN UYPSPR.

74. Almoraie, N. M. The effect of walnut flour on the physical and sensory characteristics of wheat bread / N. M. Almoraie // International Journal of Food Science. – 2019. – Vol. 2019. – P. 5676205. – DOI 10.1155/2019/5676205. – EDN QCRKGL.

75. Offia-Olua, B. I. Chemical, Functional and Pasting Properties of Wheat (*Triticum*spp) -Walnut (*Juglansregia*) Flour / B. I. Offia-Olua // Food and Nutrition Sciences. – 2014. – Vol. 05, № 16. – P. 1591-1604.

76. Agrawal, R. Psyllium: A Source of Dietary Fiber // Dietary Fibers/ ed. V. Y. Waisundara. – IntechOpen, 2022. – Psyllium. – 94 p. – DOI: 10.5772/intechopen.99372

77. Белевская, И. В. Псиллиум - новое слово в низкоуглеводной безглютеновой выпечке / И. В. Белевская, И. С. Тащилин, М. Р. Бетмерзаева // Качество продукции, технологий и образования : Материалы XIII Международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 30 марта 2018 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2018. – С. 164-167. – EDN UWQQTZ.

78. Псиллиум: Изготовление, Показания, Противопоказания, Недостатки. – URL: <https://tfzp.ru/articles/poleznye-stati/psillium-izgotovlenie-pokazaniya-protivopokazaniya-nedostatki> (дата обращения: 11.04.2025).

79. Structural and nutritional properties of psyllium husk arabinoxylans with special reference to their antioxidant potential / M. Waleed, F. Saeed, M. Afzaal [et al.] // International Journal of Food Properties. – 2022. – Vol. 25, No. 1. – P. 2505-2513. – DOI 10.1080/10942912.2022.2143522. – EDN EQRMOI.

80. Химический состав российских пищевых продуктов. – Москва : ТД ДеЛи, 2024. – 193 с. – ISBN 978-5-605-11485-7. – EDN NUVIMI.

81. Anitha, S. Physico-chemical and sensory characteristics of psyllium husk powder and pomegranate juice incorporated digestive cookies / S. Anitha, H. N. Ramya // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. – 2020. – Vol. 9, № 5. – P. 1073-1078.

82. Использование псиллиума при производстве различных пищевых продуктов / А. П. Смольянова, М. О. Волошина, А. Н. Кудря, М. О. Деева // *Заметки ученого*. – 2021. – № 6-1. – С. 241-244. – EDN QFGDXF.

83. Роль пищевых волокон в коррекции пищеварения и запоров различной этиологии / Е. Ю. Плотникова, Т. Ю. Грачева, М. Н. Синькова, Л. К. Исаков // *Медицинский совет*. – 2019. – № 14. – С. 99-106. – DOI 10.21518/2079-701X-2019-14-99-106. – EDN MLCLPV.

84. Kaur, R. Cereal polysaccharides as sources of functional ingredient for reformulation of meat products: A review / R. Kaur, M. Sharma // *Journal of Functional Foods*. – 2019. – Vol. 9, №. – P. 103527. – DOI.ORG/10.1016/J.JFF.2019.103527

85. Использование псиллиума в технологии производства йогурта функционального назначения / О. Е. Кротова, О. Н. Полозюк, Т. И. Тупольских [и др.] // *Проблемы развития АПК региона*. – 2022. – № 3(51). – С. 182-187. – DOI 10.52671/20790996_2022_3_182. – EDN LUBYXK.

86. Everett, D. W. Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt / D. W. Everett, R. E. Mcleod // *International Dairy Journal*. – 2005. – Vol. 15, No. 11. – P. 1175-1183. – DOI 10.1016/j.idairyj.2004.12.004. – EDN LSFGOZ.

87. Figueroa L.E., Genovese D.B. Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product / L. E. Figueroa, D. B. Genovese // *LWT*. — 2019. – Vol. 111. – P. 423-428. – DOI /10.1016/j.lwt.2019.05.031

88. Noguerol, A. T. Developing psyllium fibre gel-based foods: Physicochemical, nutritional, optical and mechanical properties / A. T. Noguerol, M.

Marta Igual, M. J. Pagán // *Food Hydrocolloids*. – 2022. – Vol. 122. – P. 107108. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2021.107108. – EDN SIPPQU.

89. Psyllium: A Nutraceutical and Functional Ingredient in Foods / Ya. Zhang, Y. Luo, B. Gao, L. Yu // *Annual Review of Food Science and Technology*. – 2025. – DOI 10.1146/annurev-food-111523-121916. – EDN UGSXVG.

90. Arora, S. K. Properties of sweetened milk fortified with dietary fibers / S. K. Arora // *International Journal of Advanced Biochemistry Research*. – 2024. – Vol. 8, No. 7. – P. 86-91. – DOI 10.33545/26174693.2024.v8.i7b.1448. – EDN FMVEPI.

91. Silva Zamora, R. Characterization of selected dietary fibers microparticles and application of the optimized formulation as a fat replacer in hazelnut spreads / R. Silva Zamora, A. Baldelli, A. Pratap-Singh // *Food Research International*. – 2023. – Vol. 165. – P. 112466. – DOI 10.1016/j.foodres.2023.112466. – EDN PPAZBW.

92. Effects of xanthan gum and psyllium husk powder with different ratios on the emulsification and oxidative stability of low-salt myofibrillar protein emulsions prepared by ultrasound / Q. Fu, J. Cheng, H. Shi [et al.] // *Food Chemistry: X*. – 2025. – Vol. 25. – P. 102214. – DOI 10.1016/j.fochx.2025.102214. – EDN GWCTFA.

93. Sakr, H. S. A. A Study on Supplementation of Non-Fat Yoghurt with Psyllium / H. S. A. Sakr // *Journal of Food and Dairy Sciences*. – 2019. – Vol. 10, №9. – P. 303-308. – DOI 10.21608/jfds.2019.54524

94. Probiotic applications associated with Psyllium fiber as prebiotics geared to a healthy intestinal microbiota: A review / M. C. Martellet, F. Majolo, R. G. Ducati [et al.] // *Nutrition*. – 2022. – Vol. 103-104. – P. 111772. – DOI 10.1016/j.nut.2022.111772. – EDN AGLCRG.

95. Improving the quality of dough obtained with old durum wheat using hydrocolloids / M. G. Farbo, C. Fadda, S. Marceddu [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2020. – Vol. 101. – P. 105467. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2019.105467. – EDN BJFIJT.

96. Cheng, Z. Acid treatment to improve psyllium functionality / Z. Cheng [et al.] // *Journal of Functional Foods*. – 2009. – Vol. 1, №1. – P. 44-49. – DOI 10.1016/j.jff.2008.09.007

97. Effects of sulfation on the physicochemical and functional properties of psyllium / W. Liu, B. Zhang, Q. Wang [et al.] // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2010. – Vol. 58, No. 1. – P. 172-179. – DOI 10.1021/jf902731p. – EDN OBRKUR.

98. Niu, Y. Preparation of succinylated derivatives of psyllium and their physicochemical and bile acid-binding properties / Y. Niu [et al.] // Food Chemistry. – 2012. – Vol. 132, №2. – P. 1025-1032. – DOI 10.1016/j.foodchem.2011.11.090

99. Mallikarjunan, N. Radiation processing of psyllium and its application in development of low glycaemic food / N. Mallikarjunan, R. Deshpande, S. N. Jamdar // Radiation Physics and Chemistry. – 2021. – Vol. 186. – P. 109477. – DOI 10.1016/j.radphyschem.2021.109477. – EDN XPXWFP.

100. Пьяных, О. П. Роль псиллиума в лечении метаболического синдрома / О. П. Пьяных // Эндокринология. Новости. Мнения. Обучение. – 2020. – Т. 9, № 1(30). – С. 87-91. – DOI 10.33029/2304-9529-2020-9-1-87-91. – EDN QNMQDN.

101. Ардатская, М. Д. Клиническое применение пищевых волокон : методическое пособие / М. Д. Ардатская ; М. Д. Ардатская. – Москва : 4TE Арт, 2011. – 48 с. – ISBN 978-5-903274-49-9. – EDN QLZDGD.

102. Габриелян, Д. С. Использование псиллиума для загущения творожной сыворотки / Д. С. Габриелян, А. Л. Новокшанова // Ползуновский вестник. – 2023. – № 4. – С. 38-44. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.005. – EDN СНПWW.

103. Пряничникова, Н. С. К частным вопросам реализации Стратегии 2030 в молочной промышленности / Н. С. Пряничникова // Молочная промышленность. – 2022. – № 9. – С. 10-13. – DOI 10.31515/1019-8946-2022-09-10-12. – EDN RINVAN.

104. Волошина, М. О. К вопросу применения псиллиума в производстве киселей / М. О. Волошина, А. П. Смольянова, Н. П. Панин // Современная школа России. Вопросы модернизации. – 2021. – № 3-1(36). – С. 270-271. – EDN АРПКGB.

105. Heaney, R. P. Effect of psyllium on absorption of co-ingested calcium / R. P. Heaney, C. M. Weaver // *Journal of the American Geriatrics Society*. – 1995. – Vol. 43, №3. – С. 261-263. – DOI 10.1111/j.1532-5415.1995.tb07333.x

106. Psyllium Improves the Quality and Shelf Life of Gluten-Free Bread / C. Fratelli, F. G. Santos, D. G. Muniz [et al.] // *Foods*. – 2021. – Vol. 10, No. 5. – P. 954. – DOI 10.3390/foods10050954. – EDN YVVFJPS.

107. Franco, E. A. N. Psyllium (*Plantago ovata* Forsk): From evidence of health benefits to its food application / E. A. N. Franco [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. – 2020. – Vol. 96. – P. 166-175. – DOI 10.1016/j.tifs.2019.12.006

108. Pal, S. Effects of psyllium on metabolic syndrome risk factors / S. Pal, S. Radavelli-Bagatini // *Obesity reviews*. – 2012. – Vol. 13, №11. – P. 1034-1047. – DOI 10.1111/j.1467-789X.2012.01020.x

109. Пектины из нетрадиционных источников: технология, структура, свойства и биологическая активность / С. Т. Минзанова, В. Ф. Миронов, А. И. Коновалов [и др.]. – Казань : Общество с ограниченной ответственностью "Печать-Сервис-XXI век", 2011. – 224 с. – ISBN 978-5-91383-038-3. – EDN SOBDYT.

110. Использование феномена пектина в молочной отрасли / А. Н. Федосова, М. В. Каледина, В. П. Витковская, Л. В. Донченко // *Молочная промышленность*. – 2022. – № 7. – С. 38-41. – DOI 10.31515/1019-8946-2022-07-38-41. – EDN SHDXVS.

111. Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review / C. M. P. Freitas, R. C. S. Sousa, J. S. R. Coimbra, V. G. L. Souza // *Coatings*. – 2021. – Vol. 11, No. 8. – DOI 10.3390/coatings11080922. – EDN MVEFRF.

112. Liu, Y. Anti-diabetic effect of citrus pectin in diabetic rats and potential mechanism via PI3K/Akt signaling pathway / Y. Liu [et al.] // *Journal of Biological Macromolecules* – 2016. – Vol. 89. – P. 484-488. – DOI 10.1016/j.ijbiomac.2016.05.015

113. Использование феномена пектина в молочной отрасли / А. Н. Федосова, М. В. Каледина, В. П. Витковская, Л. В. Донченко // Молочная промышленность. – 2022. – № 7. – С. 38-41. – DOI 10.31515/1019-8946-2022-07-38-41. – EDN SHDXVS.

114. Хрундин, Д. В. Некоторые аспекты применения пектиновых веществ в технологии пищевых производств / Д. В. Хрундин // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. №24. – С. 53-56.

115. Naseri, A.T. Citrus pectin: structure and application in acid dairy drinks / A.T. Naseri, T. J. Fhibault, M. C. Ralet-Renard // Tree and Forestry Science and Biotechnology 2 Special Issue 1. – 2008. – P. 62-70.

116. Laurent, M. A. Stabilization mechanism of acid dairy drinks (ADD) induced by pectin / M. A. Laurent, P. Boulenguer // Food Hydrocolloids. – 2003. – Vol.17, № 4. – P. 445-454. – DOI 10.1016/S0268-005X(03)00028-6.

117. Крупин, А. В. Анализ влияния пектина на закономерности гидролиза лактозы в связи с производством напитков / А. В. Крупин // Техника и технология пищевых производств. – 2009. – № 3(14). – С. 90-93. – EDN KYPVCR.

118. Скапец, О. В. Перспективы комплексного использования хитозана и пектина в технологии молочных продуктов / О. В. Скапец // Известия КГТУ. – 2011. – № 21. – С. 105-111. – EDN OGDJXX.

119. Тужилкин, В. И. Теория и практика применения пектинов / В. И. Тужилкин, А. А. Кочеткова, А. Ю. Колеснов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1995. – № 1-2(224-225). – С. 78-83. – EDN QBVZQZ.

120. Огнева, О. А. Пектин как полифункциональная добавка при производстве молочных продуктов / О. А. Огнева, Л. В. Пономаренко, М. П. Коваленко // Молодой ученый. – 2015. – № 15(95). – С. 144-147. – EDN UCRKFP.

121. Анализ перспектив создания функциональных напитков с использованием пектина / М. Ю. Музыка, С. Н. Бутова, Е. Р. Вольнова, Ю. В. Николаева // Colloquium Journal. – 2020. – № 4-2(56). – С. 32-35. – DOI 10.24411/2520-6990-2020-11353. – EDN TAFZIV.

122. Hashemi, F. S. The effect of high methoxyl pectin and gellan including psyllium gel on Doogh stability / F. S. Hashemi, S. M. Taghi Gharibzahedi, H. Hamishehkar // RSC Advances. – 2015. – Vol. 5, No. 53. – P. 42346-42353. – DOI 10.1039/c5ra03190g. – EDN UQALKH.

123. Огнева, О. А. Технология молочных продуктов функционального и специального назначения : Учебное пособие / О. А. Огнева, Н. С. Безверхая. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2019. – 179 с. – ISBN 978-5-00097-847-4. – EDN FMCXLS.

124. Жебо, А. В. Оценка качества орехового сырья для производства напитков / А. В. Жебо, Н. Г. Уварова // Вестник Хабаровского государственного университета экономики и права. – 2020. – № 3(104). – С. 153-159. – DOI 10.38161/2618-9526-2020-3-15. – EDN YEUNNT.

125. Betz, Yu. A. Functional components of non-traditional raw materials in the design of bakery products / Yu. A. Betz, N. L. Naumova, I. N. Minashina // Innovations and Food Safety. – 2021. – No. 1(31). – P. 7-13. – DOI 10.31677/2072-6724-2021-31-1-7-1. – EDN UCQYYO.

126. Кисломолочный напиток с орехами различного происхождения / П. С. Болкунов, А. В. Мамаев, Н. Д. Родина, Е. Ю. Сергеева // Евразийский союз ученых. – 2015. – № 4-11(13). – С. 39-41. – EDN XDSXFH.

127. Тренды индустрии: безалкогольные напитки. – URL: <https://nielseniq.com/global/ru/insights/education/2024/trendy-industrii-bezalkogolnye-napitki/> (дата обращения: 12.05.2025).

128. Грецкий раф без сахара «Eleo» 150 г. – URL: https://altay-organic.ru/catalog/napitki_kiel_kofe/gretskiy_raf_bez_sakhara_eleo_150_g/ (дата обращения: 16.06.2025).

129. Ореховый Напиток Borges Natura Грецкий Орех 1л. — URL: <https://megamarket.ru/catalog/details/napitok-borges-na-osnove-greckogo-oreha-i-risa-1l-100027308378/> (дата обращения: 13.05.2025).

130. Молочно-растительный напиток из ядер фундука / Е. А. Карачевцева, Т. И. Тимофеев, Л. А. Чиркова, Г. А. Ширяев // Известия высших учебных

заведений. Пищевая технология. – 2008. – № 5-6(306-307). – С. 65-66. – EDN JVXPKV.

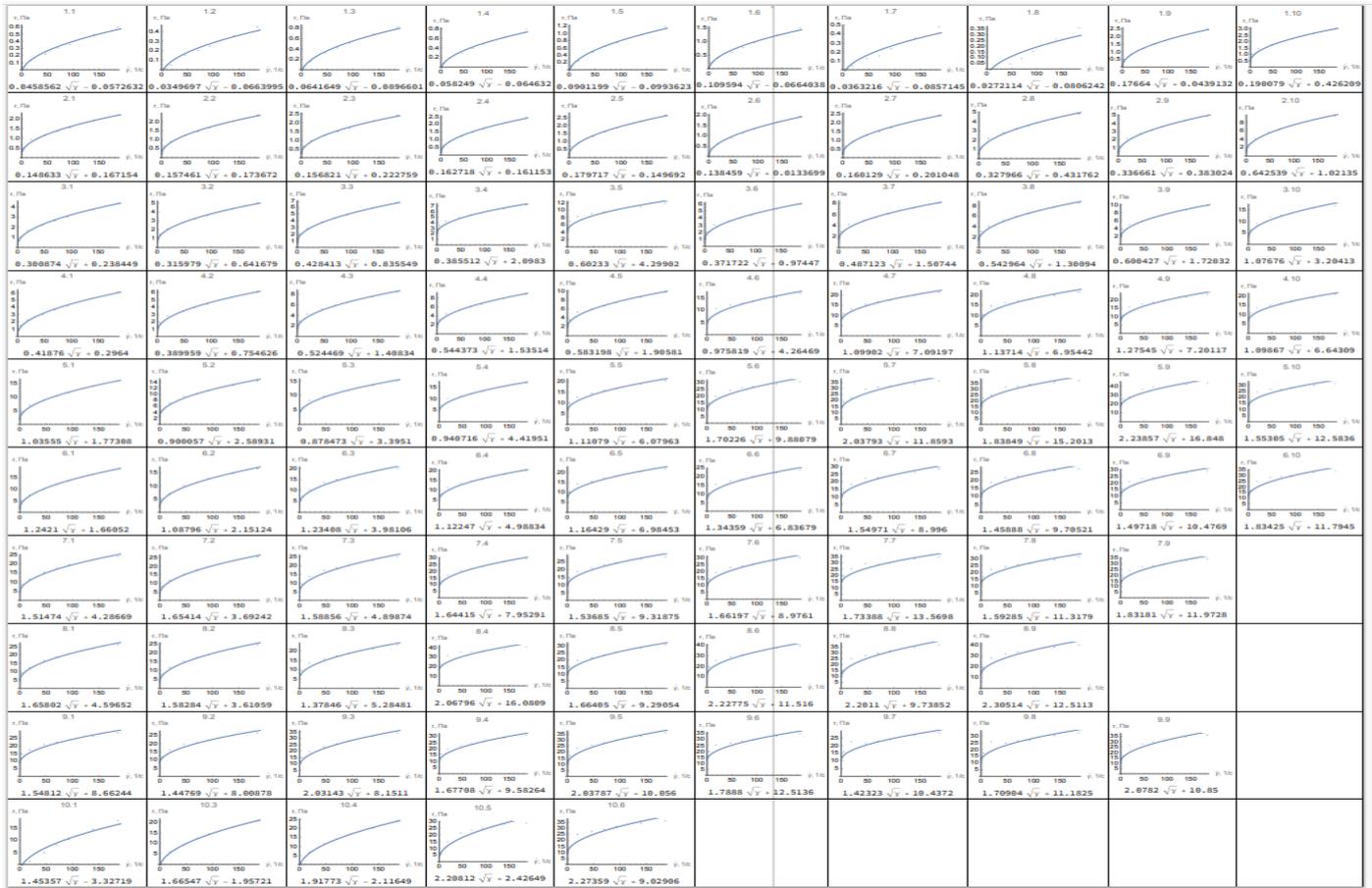
131. Влияние режимов термообработки на относительную биологическую ценность молока / З. С. Зобкова, Т. П. Фурсова, Д. В. Зенина [и др.] // Молочная промышленность. – 2020. – № 7. – С. 52-54. – DOI 10.31515/1019-8946-2020-07-52-54. – EDN TAWQYE.

132. Wusigale, Y. Casein and pectin: Structures, interactions, and applications / Y. Wusigale, Luo, L. Liang // Trends in Food Science & Technology. – 2020. – Vol. 97. – P. 391-403. – DOI 10.1016/j.tifs.2020.01.027. – EDN OQQSDR.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Рассчитанные значения предельных напряжений сдвига и коэффициентов динамической вязкости



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Титульный лист Технических условий

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»
(ФГАНУ «ВНИМИ»)

ОКПД2 10.51.56.120

ОКС 67.100.10 Группа Н17

УТВЕРЖДАЮ



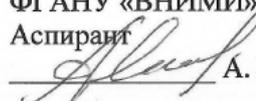
Директор ФГАНУ «ВНИМИ»


А. Г. Галстян
«16» Сентября 2025 г

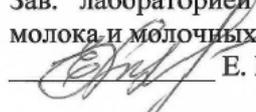
**НАПИТКИ МОЛОЧНЫЕ С МУКОЙ ГРЕЦКОГО ОРЕХА
«КИСЕЛАКТИС»
Технические условия
ТУ 10.51.56-112-00419785-2025**

Дата введения в действие – 16.10.2025

РАЗРАБОТАНО
ФГАНУ «ВНИМИ»
Аспирант


А. Н. Яшин

Зав. лабораторией биотехнологии
молока и молочных продуктов


Е. Ю. Агаркова

Инженер-исследователь


С. В. Мотылев

Москва

2025

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Акт внедрения на производство

ООО «ЮЖСКИЙ МОЛОЧНЫЙ ЗАВОД»

Россия, 155630 Ивановская обл., г. Южа, ул. Заводская, д. 5
 ИНН 3706020685. Р/с 40702810617000003515 в отделении №8639 ОАО «Сбербанк России» г. Иваново
 Тел./факс +7(49347) 2-36-25. E-mail: dubrava@dsn.ru

Утверждаю
 Директор ООО «Южский
 молочный завод»
 С.А. Закочурин



Акт внедрения на производство

Комиссия в составе главного технолога ООО «Южский молочный завод» Белова Юрия Анатольевича, технолога ООО «Южский молочный завод» Беловой Олеси Юрьевны, старшего научного сотрудника ФГАНУ «ВНИМИ» Агарковой Евгении Юрьевны, соискателя Яшина Алексея Николаевича составили настоящий акт о том, что в период с 20 октября 2025 г. по настоящую дату проведена апробация нового вида продукта – напиток молочный с мукой грецкого ореха «Киселактис» с массовой долей жира 2,5 % ТУ 10.51.56-112-00419785-2025.

Выработанный продукт по органолептическим, физико-химическим, микробиологическим показателям и показателям безопасности полностью соответствовал требованиям технических условий.

В суммарном объеме в вышеуказанный период было выработано 3 т продукции.

По результатам апробации руководством предприятия принято решение о включении в план производства напитка молочного с мукой грецкого ореха «Киселактис» с 03 ноября 2025 г.


 Белов Ю.А.

 Белова О.Ю.

 Агаркова Е.Ю.

 Яшин А.Н.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Акт внедрения на производство

Утверждаю:
 Главный технолог
 Молочный комбинат «Воронежский»
 Мельникова Е. И.



14 декабря 2025 г.

АКТ

внедрения новой технологии напитка

В период с 10 ноября по 14 декабря 2025 г. на производственных мощностях ПАО Молочный комбинат «Воронежский» произведен выпуск 3 опытных партий молочного напитка «Киселактис» (ТУ 10.51.56-112-00419785-2025, разработчик ФГАНУ «ВНИМИ») в количестве порядка 300 ...330 кг каждой.

Для производства напитка было использовано следующее сырьё:

- молоко топленое с массовой долей жира 3,2 %;
- обезжиренная мука грецкого ореха с массовой долей белка 15,0 %, массовой долей жира 18,0 %, массовой долей углеводов 3,0 %;
- низкоэтерифицированный амидированный пектин со степенью этерификации (27±3) %, степенью амидирования (22±3) %;
- псиллиум (отруби из семян подорожника).

В результате промышленного выпуска на предприятии в общей сложности наработано 0,945 тонн готового напитка.

Органолептическая оценка показала, что консистенция напитка была вязкотекучая, киселеобразная с равномерным включением мелких частиц муки грецкого ореха. Вкус приятный, ореховый; цвет бежевый, равномерный по всей массе; консистенция – выраженная киселеобразная.

На основании проведенной промышленной выработки на предприятии принято решение о включении напитка «Киселактис» в план расширения ассортимента выпускаемой продукции предприятия на 2026-2031 гг.

От ПАО Молочный комбинат «Воронежский»:

Вед. технолог тех. департамента Рудниченко Е.С.

Технолог-контролер к/м прод. тех. департамента Медкова Е. В.

От ФГАНУ «ВНИМИ»
 Ст. науч. сотр. Агаркова Е.Ю.
 Аспирант Яшин А.Н.