

На правах рукописи

Яшин Алексей Николаевич

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

4.3.3 Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (ФГАНУ «ВНИМИ»)

Научный руководитель: **Агаркова Евгения Юрьевна**
доктор технических наук

Официальные оппоненты: **Симоненко Сергей Владимирович**
доктор технических наук, директор НИИДП – филиала ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи»

Габриелян Дина Сергеевна
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии молока и молочных продуктов, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Защита состоится «21» мая 2026 г. в 15 часов 00 минут на заседании объединенного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 24.1.515.01 по научной специальности 4.3.3 Пищевые системы (технические науки) при ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности», по адресу: 115093, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ») и на официальном сайте ФГАНУ «ВНИМИ» <https://vnimi.org>

С авторефератом можно ознакомиться на официальных сайтах ВАК Минобрнауки РФ <http://vak.ed.gov.ru> и ФГАНУ «ВНИМИ» <https://vnimi.org>.

Автореферат разослан « » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
Совета 24.1.515.01

Т.С. Бычкова

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. Большая часть больных с диагностированными МН имеют дисбаланс потребления микроэлементов и повышенное потребление углеводов, в том числе за счет частого употребления в питании сладких напитков. 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.

В то же время, на протяжении последнего десятилетия отмечается повышенный спрос на «здоровые» продукты, в том числе продукты с пониженным содержанием сахаров. 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 темы исследования. 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 топленного 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 и органолептических показателей поликомпонентных систем на молочной основе.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные данные позволят контролировать процесс структурообразования в многокомпонентных полидисперсных системах на молочной основе. 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 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 и методы исследования. 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 процессуальных 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 технологий 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, аргументирована научная новизна, сформулирована цель и поставлены задачи, показана практическая значимость, представлены методологические основы работы, достоверность и уровень апробации, сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе на основе анализа данных отечественных и зарубежных исследований показана перспективность включения ореховой муки, в частности МГО, как потенциального компонента продуктов нового поколения. Уникальные органолептические и физико-химические свойства нашли промышленное применение в хлебобулочном и кондитерском производстве, но крайне ограничены в производстве напитков. Биологические свойства, микро и макронутриентный состав МГО позволяет существенно расширить рацион как здоровых людей, так и находящихся на специальной диете.

Выявлено, что сложные пищевые системы с включением молочной основы, МГО, псиллиума и пектина имеют ряд особенностей при взаимодействии. В то же время, обнаружена крайне высокая зависимость объема включения каждого из компонентов на 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 выявленные пробелы подчеркивают необходимость дальнейших исследований в области многокомпонентных пищевых систем, что, в свою очередь, позволит разработать рецептуру новых пищевых продуктов с низким гликемическим индексом и привлекательными потребительскими свойствами. В частности, молочных продуктов с включением ореховой муки.

Во второй главе представлены методология, объекты и методы исследований. Схема организации проведения экспериментальных работ представлена на Рисунке 1.

Объектами исследования являлись модельные системы «молоко-пектин-МГО» с различными концентрациями пектина и МГО. Для приготовления и изучения модельных систем «молоко-пектин-МГО» использовали молоко сухое обезжиренное (ОАО «Молвест», Россия); молоко топленое «Станция Молочная» (АО «Верховский молочно-консервный завод», Россия); обезжиренная МГО с массовой долей белка 15,0 %, массовой долей жира 18,0 %, массовой долей углеводов 3,0 %) (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) (ООО «ОРГТИУМ ПЛЮС», Россия).

При выполнении работы применялись стандартизованные методы. Все результаты представлены по данным трех независимых экспериментов 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).

Процедура исследования состояла из двух последовательных этапов: приготовление модельных систем и их исследование. Всего было подготовлено 100 модельных систем «молоко-пектин-МГО».

Их состав рассчитывали так, чтобы массовая доля топленого 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. С целью определения оптимального внутрикомпонентного соотношения в молочной полидисперсной системе для количественной обработки результатов комплексной органолептической оценки была использована классическая функция желательности Харрингтона.

В третьей главе представлены результаты исследований по установлению рациональной дозы внесения МГО в водных растворах и молоке, реологического

поведения псиллиума. Показана необходимость блокировки кальция в окрестностях казеиновых мицелл. Исследовано влияние величины рН, титруемой кислотности и состава модельных систем на их органолептические характеристики и установлены зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига многокомпонентных молочных систем. Определена математическая зависимость критической массовой доли пектина от массовой доли концентрации МГО, осуществлен эмпирический подбор массовой доли псиллиума в системе молоко-пектин-МГО и разработана технологическая схема напитка киселеобразной консистенции.

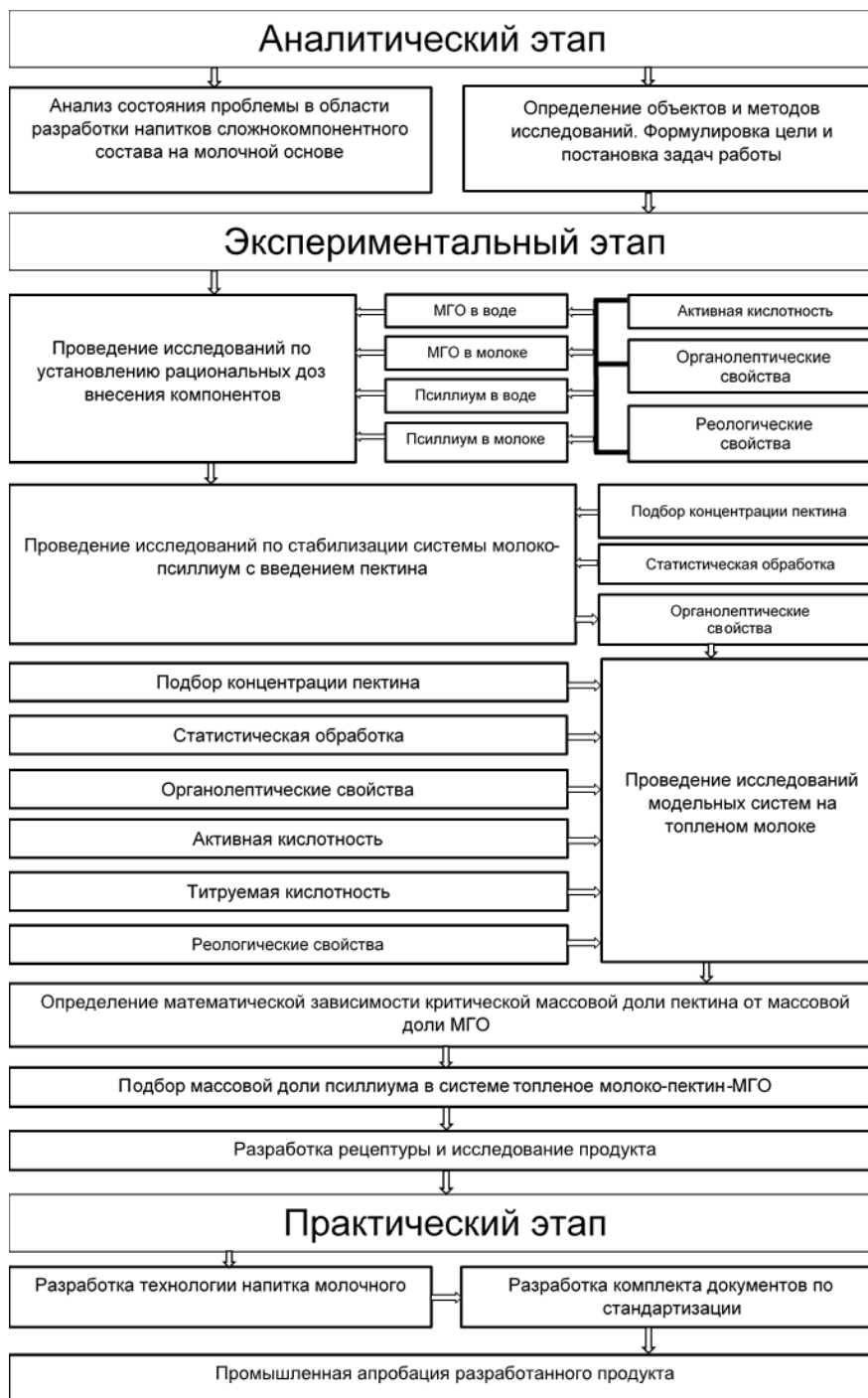


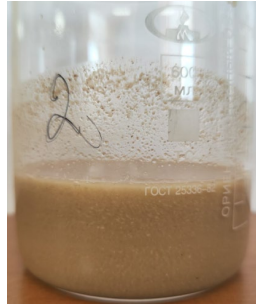
Рисунок 1 – Схема проведения исследований

На первом этапе были исследованы три концентрации ореховой муки: 2,5 (образец 1); 5,0 (образец 2); 7,5 (образец 3). Все приготовленные смеси представляли из себя неустойчивую суспензию, склонную к медленной седиментации. При этом происходит окрашивание в желтовато-коричневый за счёт присутствия в составе муки β -каротина и хинонов.

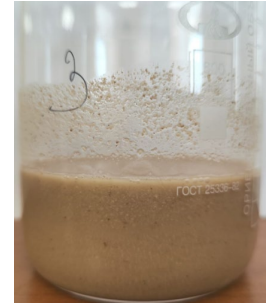
Однако после перемешивания видимое формирование осадка начиналось по истечении ~ 15 минут после перемешивания, и в процессе наблюдения за смесями отмечено, что полностью осадок не сформировался (Рисунок 2). Часть ореховой муки перешла в растворимую форму из-за содержащихся в ней растительных гидроколлоидов.



Образец 1



Образец 2



Образец 3

Рисунок 2 – Модельные системы с ореховой мукой до термической обработки, после перемешивания

Далее модельные системы были подвергнуты термообработке в течение 5 и 10 минут. Показано, что продолжительность термообработки не оказывает влияния на текстуру.

Анализ данных активной кислотности образцов с различной продолжительностью термообработки показал, что как концентрация, так и продолжительность термообработки не оказывают влияния на значение рН системы.

Далее проводились исследования по отработке рациональных концентраций на молочных системах по аналогичному принципу. Образцы молочных суспензий с различными массовыми долями МГО принимали светло-коричневый цвет, что является следствием перехода в дисперсионную среду модельных систем из МГО β -каротина и хинонов. 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 ощутимого влияния на органолептические показатели и активную кислотность. По совокупной органолептической оценке, на данном этапе работы наиболее рациональная доза внесения МГО составила 5,0 %.

Далее были проведены исследования реологического поведения псиллиума в водном растворе и в обезжиренном восстановленном молоке (концентрация 1,0 %). При остывании при комнатной температуре водная система с псиллиумом демонстрировала постепенное гелеобразование. После хранения раствора в холодильнике при температуре $4(\pm 2)$ °С на следующие сутки после приготовления

смесь имела достаточно плотную желеобразную консистенцию с пристеночным синерезисом.

В отношении системы псиллиум-молоко имела место следующая тенденция: до проведения термообработки раствор был более равномерным, чем после. В образце после термообработки было отмечено присутствие неравномерных по объёму включений частиц псиллиума. Это, вероятно, связано с тем, что по своей химической природе псиллиум является арабиноксиланом, содержащим остатки полигалактуроновой кислоты, чувствительной к кальцию. Учитывая, что он имеет бóльшую молекулярную массу, чем пектин, а содержание кальция в молоке значительно выше, чем в воде, то чувствительность к ионам кальция становится выше, и связывание происходит интенсивнее. По факту вместо требуемой киселеобразной консистенции была получена плотная желеобразная система.

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 1 и 2).

Таблица 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	1,43	0,02	2,14	0	5,47975	57,18	4,2885
Вода	47,65	0	0	0	0	0,002049	2,04895	0
МГО	2,5	0,38	0,45	0,075	0,1675	2,4	2,45	3,95
Псиллиум	1,0	0,014	0,002	0,024	0,878	0,918	0	0
Пектин	1,2	0	0	0	1,08	1,08	0	0
ИТОГО	100	1,8185	0,478	2,2433	2,126	9,8798	61,679	8,239

* – 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 %).

Таблица 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	0,02318	2,08575	0	5,33025	55,62	4,1715
Вода	46,35	0	0	0	0	0,00199	1,99305	0
МГО	5	0,75	0,9	0,15	0,335	4,8	4,9	7,9
Псиллиум	1	0,014	0,002	0,024	0,878	0,918	0	0
Пектин	1,3	0	0	0	1,17	1,17	0	0
ИТОГО	100	2,1545	0,92518	2,25975	2,383	12,2202	62,5131	12,0715

Поскольку эффекта лёгкого гелеобразования при снижении концентрации не наблюдалось, было принято решение уменьшить массовую долю пектина была на $\frac{1}{4}$, в 2 и 3 раза.

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.

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. Для учёта влияния добавленной МГО, 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 %. 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 МГО. Для этого

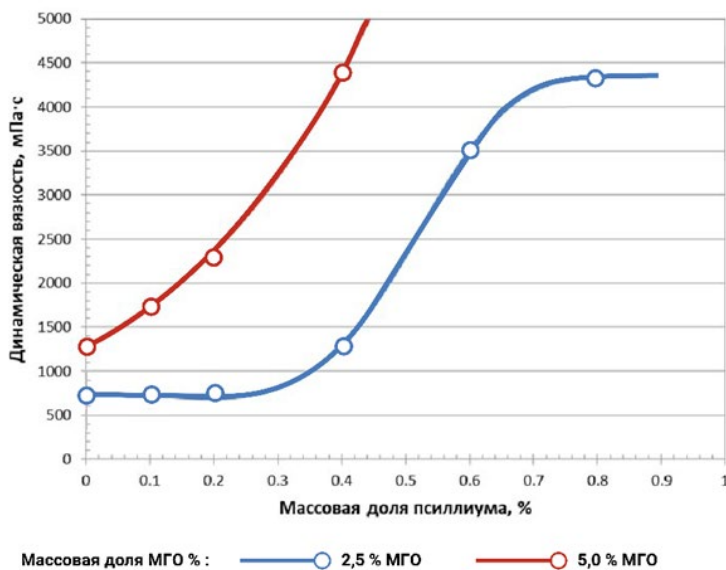


Рисунок 3 – Влияние массовой доли псиллиума на кинетику динамической вязкости модельных систем

при каждой массовой доле муки была изготовлена серия модельных образцов с массовой долей псиллиума от 0 до 0,6 %. Примечательно, что при массовой доле МГО 5 % получение однородной неомующей смеси было возможно при массовой доле псиллиума, не превышающей 0,4 %.

Аппроксимация экспериментальных позволила получить математические описания рассматриваемых кинетик, удовлетворительно их описывающие в пределах экспериментальных интервалов варьирования значений массовой доли псиллиума (Рисунок 3).

При концентрации МГО 2,5 % модель имеет вид:

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

а при концентрации 5,0 % –

$$\eta = a \cdot \exp\left(\frac{[C_{ps}]}{b}\right), \quad (3)$$

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

Статистически характеристики полученных моделей приведены в Таблице 3.

Таблица 3 – Статистические характеристики моделей кинетик динамической вязкости на интервале массовой доли псиллиума

Массовая доля МГО, %	Параметры	Коэффициенты					R ²	Значимость (P>F)
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>f</i>		
2.5	значения	839.896	-	-	2.64395	5718.24	0.99910	0.0018
	значимость (P> t)	0.00597	0.00126	0.02362	0.00712	0.03113		
5.0	значения	1277.08	0.32389	-	-	-	0.99857	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 МГО 2,5 % эта граница соответствовала массовой доле псиллиума 0,44%, тогда как массовой доле МГО 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 МГО произведение массовой доли МГО и массовой доли псиллиума были величиной постоянной, равной 1,1. Полагая в дальнейшем таковую константу справедливой и для остальных массовых долей МГО, были определены составы промежуточных модельных систем, а также модельной системы, соответствующей границе (M) перехода кривой.

$$[C_{ps}] \cdot [C_{wp}] = 1.1, \quad (4)$$

где $[C_{wp}]$ – массовая доля МГО, %.

Составы модельных систем приведены в Таблице 4.

Оценка органолептических показателей данных модельных систем по консистенции и вкусу показала, что лучшей консистенцией обладали системы *М* и 3, равно как и выраженность вкуса.

Таблица 4 – Состав модельных систем в пересчёте на 100 г

Наименование компонента	Количество компонента, г				
	1	2	<i>М</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

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 псиллиум-содержащей структуры тем меньше, чем меньше его массовая доля в системе, соответственно, оптимальным составом может быть принят вариант *М*.

Учитывая необходимость нивелирования выраженного специфического вкуса ореховой муки и улучшения органолептических показателей, было решено провести серию экспериментов на основе топленого молока. 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. Методология исследований на данном этапе была аналогична предыдущей, но в ходе работы были выявлены реологические особенности псиллиума в разрабатываемой многокомпонентной системе, и было решено провести серию экспериментов с более глубокой градацией концентраций пектина с последующим включением в систему псиллиума (Таблица 5).

Таблица 5 – 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

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 МГО от 1,0 до 10,0 % с шагом 1,0. Оставшийся объем до 100 % доводили дистиллированной водой.

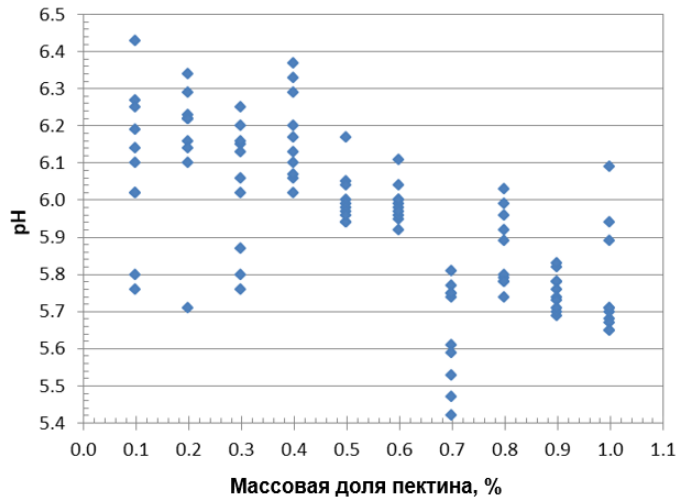


Рисунок 4 – Влияние массовой доли пектина на pH трёхкомпонентной системы

массовой доли пектина приводит к некоторому снижению pH трёхкомпонентной системы (Рисунок 4), 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 pH должен закономерно демонстрировать некоторое снижение.

На Рисунке 4 данное влияние прослеживается визуально. При этом коэффициент корреляции рассматриваемой взаимосвязи составляет $-0,67$, что говорит о преобладающей доле данного влияния, но недостаточной для прогностической оценки значения pH.

Теоретически, pH 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.

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 pH. Но, в свою очередь, массовая доля МГО практически не оказывала влияния на pH (коэффициент корреляции $-0,13$). В результате получили противоречие: оба показателя – и pH, 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

В результате проведённых исследований для каждого варианта соотношения «пектин – МГО» были получены экспериментальные данные, включающие активную (pH) и титруемую кислотность, а также основные органолептические показатели: консистенцию, вкус, запах, цвет. В общей совокупности данных имела место вариативность по pH 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

корреляцию с одним вариантом отображения кислотности, должны показывать 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

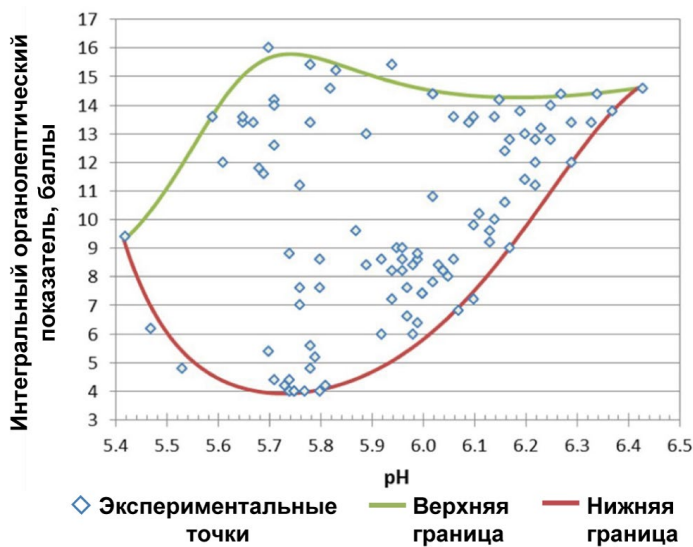


Рисунок 5 – Влияние рН системы «молоко – пектин – МГО» на интегральный органолептический показатель (Upper и Lower limit – верхняя и нижняя границы, соответственно, Samples – экспериментальные данные)

диссоциацией карбоксильных групп пектина, непосредственного влияния не оказывает.

В этой связи возникает вопрос о влиянии каждого из факторов кислотности на проявление органолептических свойств.

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 5).

В результате аппроксимации пограничных экспериментальных данных были определены эмпирические модели, адекватно описывающие, соответственно,

нижнюю и верхнюю границы множества:

$$TS = \exp(a + b \cdot pH + c \cdot pH^2 + pH^3), \quad (5)$$

$$TS = \frac{a + c \cdot pH^{0.5} + e \cdot pH + g \cdot pH^{1.5}}{1 + b \cdot pH^{0.5} + d \cdot pH + f \cdot pH^{1.5}}, \quad (6)$$

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

Статистические характеристики моделей представлены в Таблице 6.

Таблица 6 – 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	-6.115	-	-	-	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	-0.486	-0.057	0.125	0.9789	0.0005
	P> t	< 10 ⁻⁵	< 10 ⁻⁵	< 10 ⁻⁵	< 10 ⁻⁵	< 10 ⁻⁵	< 10 ⁻⁵	< 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

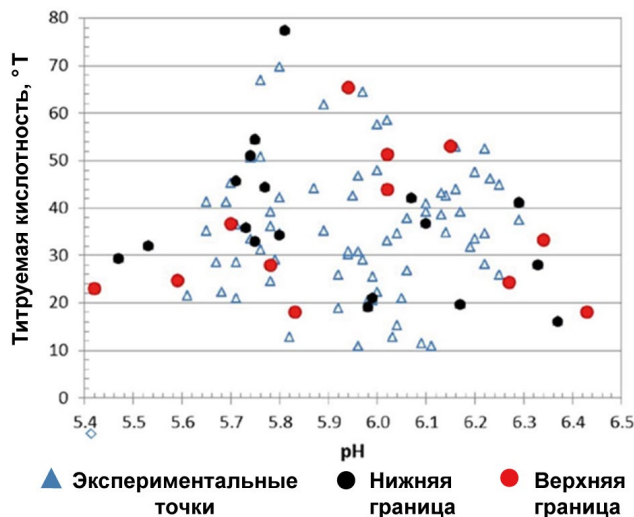


Рисунок 6 – Эмпирическая взаимосвязь рН и титруемой кислотности в системе «молоко – пектин – МГО»

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 6).

Наложение экспериментальных данных, соответствующих верхней и нижней границы Рисунка 5, не позволило выявить однозначной общей закономерности их нахождения в пределах «криволинейного» треугольника на Рисунке 6. 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 целом, общий характер неопределённости между рН и титруемой кислотностью, так же, как и в случае с ситуацией, представленной на рисунке 6, наталкивает на мысль о белковой природе факторов, указывающих на эту неопределённость и влияющих на её выраженность, с критической точкой (возможно – изоэлектрической) в районе рН 5,9.

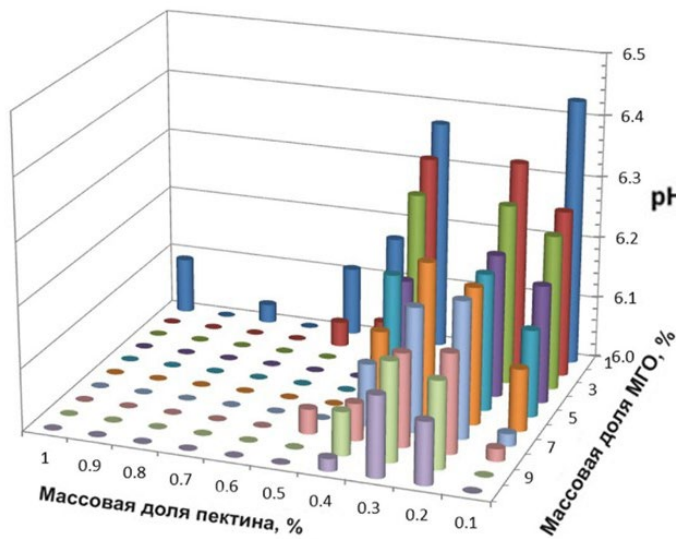


Рисунок 7 – Влияние массовых долей пектина и МГО в системе «молоко – пектин – МГО» на рН (в диапазоне рН от 6 и выше)

В этой связи довольно показательна картина комплексного влияния массовых долей пектина и МГО в трёхкомпонентной системе на рН в диапазоне значений зависящего фактора от 6 и выше (Рисунок 7).

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

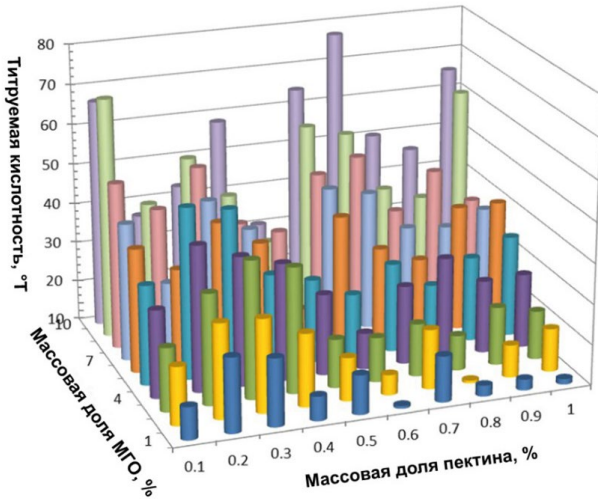


Рисунок 8 – Влияние массовых долей пектина и МГО в системе «молоко – пектин – МГО» на титруемую кислотность

пектиновых молекул с белками, в том числе молочными (Wusigale at al., 2020).

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 9.

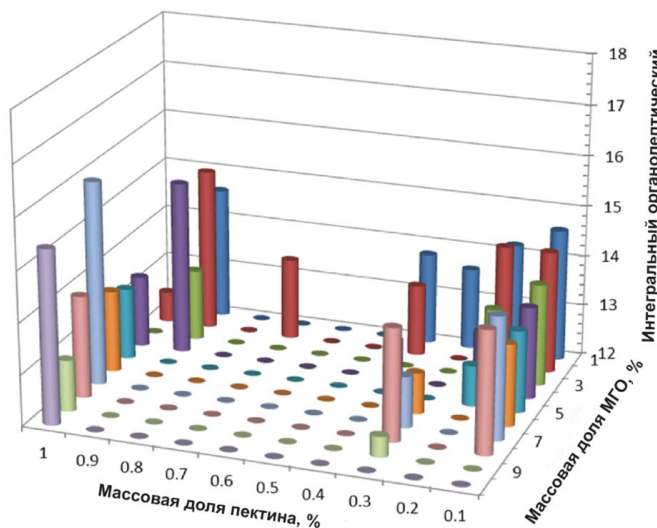


Рисунок 9 – Влияние массовых долей пектина и МГО в системе «молоко – пектин – МГО» на интегральный органолептический показатель

определили, как увеличение доли кислот и оснований Льюиса.

Взаимосвязь с титруемой кислотностью и массовой долей МГО представлена на Рисунке 8.

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

взаимодействия

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. 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 два диапазона массовых долей пектина – от 0,1 до 0,3 %, и 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.

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) (Таблица 9). 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:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^{1/2} \quad (7)$$

где

τ – напряжение сдвига

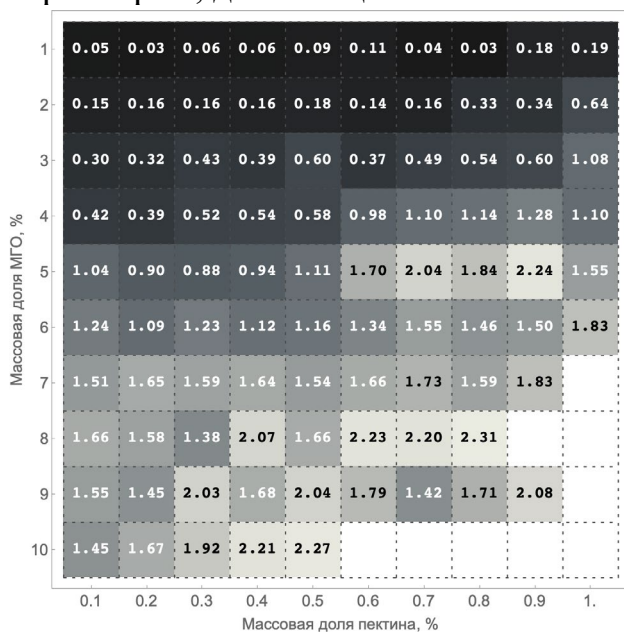
$\dot{\gamma}$ – скорость сдвига

τ_0 – предельное напряжение сдвига

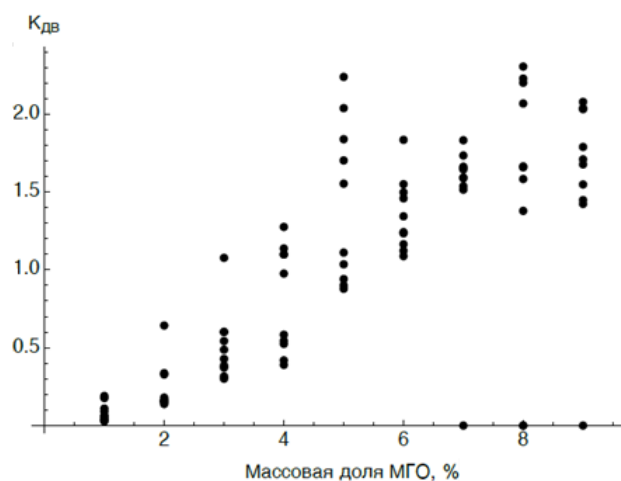
K – коэффициент динамической вязкости

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 10, а).

Реологический коэффициент хорошо коррелирует с внесением МГО, что наглядно продемонстрировано на рисунке 10, б. При этом, коэффициент динамической вязкости не коррелирует ни с одним органолептическим параметром, даже с оценкой консистенции.



а)



б)

Рисунок 10 – Зависимость реологического коэффициента от дозы внесения МГО

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 был использован двухкомпонентный метод: первый компонент отображал общий тренд и представлялся линейной регрессией параметров внесения (x – внесение пектина, y – внесение МГО):

$$f(x, y) = 1.5 + 15.2x - 36.9x^2 + 24.6x^3 - 0.19y - 0.14xy - 0.043x^2y + 0.02y^2 + 0.017xy^2 - 0.0014y^3 \quad (8)$$

В результате математических расчетов показано, что оптимальными для дальнейшей работы являются следующие интервалы внесения: 0,2-0,4 г пектина + 7-9 г МГО; 0,9-1 г пектина + 5-7 г МГО

Далее 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} .

На основании анализа экспериментальных данных 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.

Результирующая функция влияния массовой доли МГО на массовую долю пектина описывается взаимным соотношением их массовых долей в зависимости от массовой доли МГО.

На основании совокупности полученных значений критической массовой доли пектина была определена математическая зависимость критической массовой доли пектина от массовой доли МГО (регрессия со статистикой коэффициентов и всей зависимости в целом) (Рисунок 11).

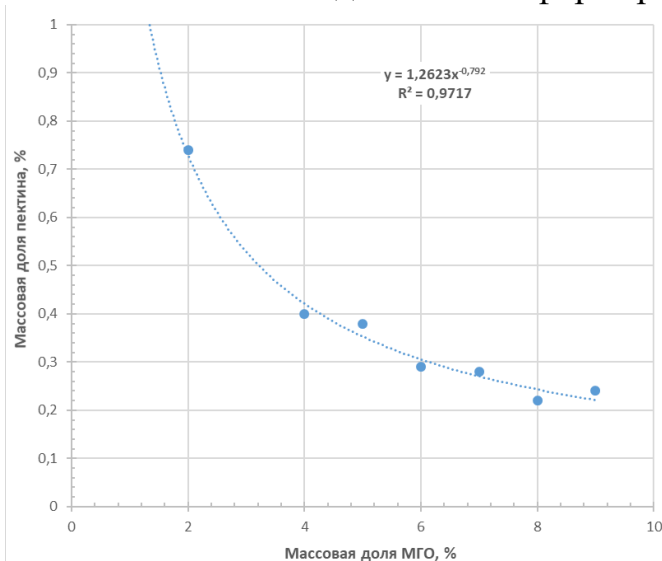


Рисунок 11 – Зависимость массовой доли пектина от массовой доли МГО

Согласно представленной на рисунке кривой по степени перехода вязкости в критическую интервал варьирования массовых долей пектина составил от 0,22 до 0,44 % (серединные значения были с разным шагом между двумя крайними значениями).

На основании полученных ранее критических точек были составлены рецептуры с интервалом варьирования концентраций псиллиума от 0,1 до 1,0 %.

По результатам визуальной оценки после проведения выработки образца номер 1 образцы 1,7 (0,7% псиллиума), 1,8 (0,8% псиллиума), 1,9 (0,9% псиллиума), 1,10 (1,0% псиллиума) были исключены из рецептур. Визуальная оценка показала изменение их консистенции в более густую, что противоречит изначальным требованиям к продукту – киселеобразная консистенция. Соответственно, далее проводили выработки в диапазоне концентраций псиллиума от 0,1 до 0,6 %.

Для определения оптимального внутрикомпонентного состава молочной полидисперсной системы использовали классическую функцию желательности Харрингтона. В качестве значений частных функций были заданы значения $d_0 = 0,367879$ и $d_1 = 0,8001$, где 3,5 балла это нижний предел желательности, 4 – «очень хорошо»).

Для каждого образца по каждому из показателей, приведенных в Таблице 12, были рассчитаны значения желательности. Далее по ним для каждого из образцов определены средние геометрические значения, представляющие из себя сводный интегральный показатель, обобщённой функции желательности (Таблица 12, где К – консистенция, В – вкус, З – запах, Ц – цвет, D – обобщенная функция желательности).

По итогам комплексной оценки определен образец 4.4, как имеющий оптимальный состав для формирования заданной консистенции (Таблица 12).

Технологическая схема производства напитка представлена на Рисунке 12.

Таблица 7 – 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
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



Рисунок 12 – Технологическая схема производства напитка

Основные результаты и выводы

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.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. Яшин А.Н., Петров А.Н. Актуальность разработки обогащенных микроэлементами продуктов питания для диетотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях. Пищевые системы. 2023;6(3):272-278. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-272-278>

2. Агаркова, Е. Ю. Создание полидисперсных систем с мукой из растительного сырья на молочной основе с управляемыми неаддитивными технологическими свойствами / Е. Ю. Агаркова, В. В. Кондратенко, О. В. Соколова, А. Н. Яшин // Пищевая промышленность. – 2025. – №1. – С. 107-111. – DOI: 10.52653/PPI.2025.1.1.019
3. Соколова, О.В. Особенности формирования органолептического профиля поликомпонентных биосистем на молочной основе / О.В. Соколова, Е.Ю. Агаркова, В.В. Кондратенко, А.Н. Яшин // Молочная промышленность. – 2025. – №2. – С. 38-44. DOI: 10.21603/1019-8946-2025-2-34.
4. Агаркова, Е.Ю. Особенности формирования потребительских свойств поликомпонентных молочных систем / Е. Ю. Агаркова, В. В. Кондратенко, А. Е. Рябова, А.Н. Яшин, Д.Н. Глазунова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2025. – № 1. – С. 68-81. – DOI 10.36107/spfr.2025.1.635.

Публикации в журналах, индексируемых в РИНЦ и материалах конференций

5. 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 NDKCTU.
6. Яшин, А.Н. Мука орехоплодных как перспективный компонент молочных продуктов с низким гликемическим индексом / А.Н. Яшин, Е.Ю. Агаркова // Сборник тезисов XIII Всероссийской (национальной) научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «ПИЩЕВЫЕ ИННОВАЦИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ», г. Кемерово, 21 апреля 2025 г – С. 400-402
7. Яшин, А.Н. Исследование реологического поведения псиллиума в молочных системах / А.Н. Яшин, Е.Ю. Агаркова, Д.Н. Глазунова, М.А. Малюшина // Материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов, г. Вологда, 03 апреля 2025 г. – С. 330-334
8. Малюшина, М.А. Формирование состава специфических полидисперсных молочных систем без добавления сахарозы / М.А. Малюшина, А.Н. Яшин, Е.Ю. Агаркова, В.В. Кондратенко // Материалы VII Международной научно-практической конференции, посвящённой дню рождения Николая Васильевича Верещагина «Передовые достижения науки в молочной отрасли», г. Вологда, 23 октября 2025 г. – С. 264-268.

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