

На правах рукописи



КЛОКОНОС Мария Вячеславовна

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДУКТОВ И РАЦИОНОВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ
С ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТЬЮ К НАРУШЕНИЮ МИНЕРАЛЬНОЙ
ПЛОТНОСТИ КОСТНОЙ ТКАНИ**

Специальность 05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов
функционального и специализированного
назначения и общественного питания

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)»

Научный руководитель:

Никитин Игорь Алексеевич

доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

Алексеева Татьяна Васильевна

доктор технических наук, доцент

(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», профессор кафедры торгового дела и товароведения)

Белкин Юрий Дмитриевич

кандидат технических наук, доцент

(ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», заведующий кафедрой товароведения и товарной экспертизы)

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», г. Воронеж

Защита состоится «30» июня 2021 г. в 11⁰⁰ ч. на заседании диссертационного совета Д 212.122.07 при ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» по адресу: 109004, г.Москва, ул. Земляной вал, 73, ауд.309.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» (<http://www.mgutm.ru>).

Автореферат размещен в сети Интернет на сайтах ВАК Минобрнауки России по адресу: (<https://vak.minobrnauki.gov.ru>) и ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» (<http://www.mgutm.ru>).

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета, к.т.н., доц.

Бычкова Т.С.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

1.1 Актуальность темы исследования. Глобальные изменения всех аспектов жизни современного человека обуславливают корректировку подходов к таким важным вопросам, как формирование новых принципов продовольственного обеспечения населения в целом, а также полноценное удовлетворение персональных потребностей в энергии, пластических, биохимических и регуляторных веществах для каждого потребителя индивидуально. Рост числа мегаполисов и увеличение плотности населения оказывают огромное влияние на изменение привычного стиля и ритма жизни современного человека. До середины XX столетия изменения в окружающей среде происходили значительно медленнее, тем самым давая человеку больше времени на адаптацию к внешнему воздействию. При этом, несомненно, питание относится к числу основных, постоянно изменяющихся и оказывающих внушительное влияние на здоровье человека факторов внешней среды. Дешевизна и повсеместная доступность, а также высокая степень технологической обработки пищи обуславливают изменения метаболических процессов организма человека, что проявляется в увеличении роста неинфекционных алиментарно-зависимых заболеваний среди населения земного шара. Среди них ведущее место занимает остеопороз (четвертое место в мире после таких неинфекционных заболеваний, как сердечно-сосудистые, онкологические и сахарный диабет) и сопутствующие заболевания, связанные нарушением минеральной плотности костной ткани (МПКТ). Широкая распространенность заболеваний, связанных с нарушением МПКТ, обусловлена рядом факторов (образ жизни, климатические условия, анамнез, наследственные данные и т.д.), способствующих их развитию, а также поздней диагностикой и несвоевременным началом лечения.

Правительством РФ, Министерством здравоохранения, а также рядом других социальных институтов запущены масштабные программы, направленные на повышение качества пищевой продукции и укрепление здоровья населения. Среди них Распоряжение Правительства РФ № 1364-р от 29.06.2016 г. «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года», Указ Президента РФ №20 от 21.01.2020 г. «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации», Постановление Правительства РФ № 1640 от 26 декабря 2017 г. «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие здравоохранения», Федеральный проект «Укрепление общественного здоровья» и др.

На сегодняшний день благодаря развитию прогностической медицины и появлению новых методов диагностики, в том числе связанных с определением генетического статуса потребителя, можно предвидеть заболевания, к которым предрасположен человек, задолго до проявления их симптоматики, и купировать, либо вовсе предотвратить их развитие с возрастом с помощью различных методов, в том числе - применения соответствующей диеты.

Полученные за последние годы научные данные в области метагенома человека, пищевой антропологии, нутригеномики, пищевой метаболомики и пи-

щевой химии убедительно показали тесную корреляцию между поступлением физиологически активных макро- и микронутриентов в организм человека и генетическими особенностями, связанными с их усвоением. Эти данные являются основанием для возникновения и развития нового направления в нутрициологии, получившего название «Концепция персонализированного питания». Внедрение в пищевую практику рационов и продуктов для персонализированного питания будет способствовать учету и компенсации негативных последствий экспрессии неблагоприятных для здоровья полиморфных генов и оптимизирует реализацию возможностей тех из них, которые снижают риск заболеваний, обеспечивая лучшую адаптационную способность и слаженность работы организма в быстро меняющихся условиях развития современной цивилизации.

Приведенные аргументы указывают на значимость проведения научных исследований, ориентированных на разработку рецептов и технологий инновационных пищевых продуктов на базе геномных исследований с применением математических методов, больших баз данных, цифровых технологий и искусственного интеллекта.

В связи с вышеизложенным, обоснование подходов и разработка методологии проектирования продуктов и рационов для потребителей, имеющих генетические предрасположенности к тем или иным алиментарно-зависимым заболеваниям, является актуальным направлением. Актуальность темы подтверждается также финансовой поддержкой гранта РФФИ №20-316-90043 «Обоснование подходов и разработка методологии проектирования продуктов и рационов персонализированного питания для потребителей с предрасположенностью к нарушению минеральной плотности костной ткани и развитию остеопороза».

1.2 Степень разработанности темы. Весомый вклад в теорию и практическую реализацию по разработке специализированных, функциональных, лечебно-профилактических пищевых продуктов, а также разработку рационов и продуктов для персонализированного питания внесли отечественные и зарубежные ученые: С.В. Бельмер, В.С. Баранов, Т.К. Каленик, Ф.Ю. Копылов, А.П. Косован, А.А. Кочеткова, В.И. Криштафович, А.Б. Лисицын, А.П. Нечаев, Ю.И. Сидоренко, А.А. Славянский, В.А. Тутельян, И.М. Чернуха, Б.А. Шендеров, A. Efeyan, M. Fenech, Lynnette R. Ferguson, J.C. Jimenez-Chillaron, M.O. José, J. Kaput, R.L. Rodrigues, D. Valter и др. Однако, несмотря на повышенный интерес к исследованиям в области персонализированного питания, вопросы его ориентирования в отношении категорий потребителей, нацеленности на изменение привычного подхода потребителей к организации питания и перехода к индивидуальному питанию на основании учета генетических предрасположенностей разработаны пока недостаточно.

1.3 Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является обоснование подходов и разработка технологий сухих пищевых смесей, хлебобулочного и мясного изделий, а также проектирование рационов для персонализированного питания на их основе для потребителей с предрасположенностью к заболеваниям, связанным с нарушением МПКТ.

В соответствии с поставленной целью решались **задачи**:

- выявить основные социальные тенденции и направления трансформации системы продовольственного обеспечения населения, оказывающие влияние на производство пищевых продуктов;
- изучить потребительские предпочтения в отношении сухих пищевых смесей, применяемых в качестве альтернативы классическому и специализированному питанию, исследовать ассортимент сухих пищевых смесей, представленных на рынке РФ;
- провести анализ факторов риска возникновения патологических состояний, связанных с нарушением МПКТ и развитием остеопороза, в том числе вероятностный вклад в формирование риска заболеваний при наличии у потребителей полиморфизмов генов *CALCR*, *VDR*, *COL1A1* и *BGP (BGLAP)*, участвующих в формировании костной ткани;
- определить конкретизированные нормы потребления нутриентов для людей с генетической предрасположенностью к нарушениям МПКТ;
- разработать математическую модель процесса гомогенизации сухой пищевой смеси с целью повышения эффективности ее производства;
- разработать алгоритм автоматизированного расчета компонентного состава сухих пищевых смесей;
- разработать рецептуры и технологии сухих пищевых смесей, хлеба и мясного рубленого полуфабриката для людей с предрасположенностью к нарушению МПКТ, провести доклиническую оценку их эффективности;
- спроектировать рацион с применением полученных смесей и специально разработанных обогащенных продуктов для потребителей, имеющих предрасположенность к нарушению МПКТ;
- обосновать экономическую эффективность производства сухих пищевых смесей, хлеба и мясного рубленого полуфабриката, разработать техническую документацию на эти продукты и провести их опытно-промышленную апробацию.

1.4 Научная новизна. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований:

- теоретически обоснованы риски возникновения нарушений МПКТ и остеопороза, основанные на учете полиморфизма генов *CALCR*, *VDR*, *COL1A1*, *BGP (BGLAP)*, и предложены направления их снижения путем применения продуктов и рационов для персонализированного питания;
- сформированы принципы проектирования продукции для персонализированного питания, основанные на введении конкретизированных норм потребления нутриентов для людей с генетической предрасположенностью к нарушениям МПКТ и остеопорозу;
- получено математическое описание процесса гомогенизации сухой пищевой смеси, обеспечивающей эффективное нутрициологическое купирование отрицательного влияния неблагоприятных генов;
- разработан алгоритм автоматизированного расчета компонентного

состава сухих пищевых смесей для удовлетворения потребностей в специальных нутриентах с применением методов математического моделирования.

1.5 Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработке методики по созданию продуктов и рационов для персонализированного питания заданного нутриентного состава, адекватного специфическим особенностям метаболизма потребителя, имеющего предрасположенность к нарушению МПКТ, обусловленную наличием полиморфизмов в генах CALCR, VDR, COL1A1, BGP (BGLAP).

На основании теоретических данных разработаны рецептуры сухих пищевых смесей для потребителей, имеющих предрасположенность к нарушению МПКТ. Разработаны рецептуры хлеба и мясного рубленого полуфабриката, направленные на восполнение баланса витаминно-минерального состава костной ткани. С применением разработанных продуктов спроектированы рационы. Определены показатели качества и безопасности разработанных продуктов и рационов, разработаны технологические режимы их производства и контроля на основе системы ХАССП. Разработана математическая модель перемешивания компонентов пищевой смеси на примере частиц различного размера.

Разработана и утверждена техническая документация на сухие пищевые смеси, хлеб и мясной рубленый полуфабрикат. Результаты исследований прошли апробацию в промышленных условиях и частично внедрены в производство, а также в учебный процесс на кафедре технологии переработки зерна, хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств ФГБОУ ВО «МГУТУ имени К.Г. Разумовского (ПКУ)», используются при реализации основных профессиональных образовательных программ по направлениям 19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания», 19.03.02 «Продукты питания из растительного сырья», 38.03.07 «Товароведение».

1.6 Методология проведения исследований базируется на общепринятых, стандартных и специальных методах исследований – органолептических, физико-химических, реологических, математических, графических, статистических, позволяющих проектировать продукты и рационы для персонализированного питания, основываясь на генетическом статусе потребителя.

При выполнении работы использовались современные теории, концепции, методики и средства проведения исследований, связанные с вопросами разработки, производства и оценки качества и продвижения нутрициологических смесей на потребительском рынке.

1.7 Научные положения, выносимые на защиту:

- учет особенностей метаболизма потребителя, ассоциированного с наличием полиморфизма генов, отвечающих за предрасположенность к нарушению МПКТ и обуславливающих взаимосвязь с возникновением наследственных алиментарно-зависимых заболеваний;
- математическая модель оценки эффективности перемешивания разнородных пищевых субстанций (частиц) сухих пищевых смесей;
- методика проектирования продуктов и рационов для персонализи-

рованного питания, способствующих снижению рисков появления основных заболеваний костной ткани, идентифицируемых на генетическом уровне;

– метод управления компонентным составом сухих пищевых смесей посредством применения алгоритма автоматизированного расчета с целью удовлетворения потребностей в специальных нутриентах.

1.8 Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных экспериментальных данных обеспечивалась использованием современных органолептических, физико-химических, микробиологических и реологических методов анализа и их статистической математической обработкой, подтверждается степенью достоверности результатов проведенных исследований, а также апробацией новых технологических решений и публикацией основных положений работы в ведущих научных изданиях.

Основные результаты диссертационной работы были представлены на форумах и конференциях различного уровня: Международной научно-практической конференции «Современные условия взаимодействия науки и техники» (Казань, 2017); VI Международной научно-технической конференции «Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений» (Воронеж, 2017); Юбилейном форуме, посвященном 85-летию со дня основания ФГАНУ НИИХП «Наука – главный фактор инновационного прорыва в пищевой промышленности» (Москва, 2017); Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию факультета технологии и товароведения Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I «Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности» (Воронеж, 2018); IV научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (Краснодар, 2018); Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Горизонты биотехнологии» (Орел, 2018); Научно-практической молодежной конференции «Пищевые технологии будущего: инновационные идеи, научный поиск, креативные решения» (Москва, 2019); Научно-практической конференции «Взгляд молодых ученых на развитие рынка продуктов питания: качество, сохранность, польза» в рамках 25-й юбилейной международной выставки «Агропродмаш-2020», (Москва, 2020); XIII Всероссийском форуме молодых ученых и студентов «Дни студенческой науки», (Москва 2021).

1.9 Публикации. По теме диссертационной работы имеется 16 публикаций, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 3 статьи в журналах, входящих в международные базы цитирования WoS/Scopus), подана заявка на патент РФ «Способ получения сухой пищевой смеси быстрого приготовления» №2020143717 от 29.12.2020 г.

1.10 Объем работы. Диссертация состоит из введения и четырех глав, включающих обзор литературы, экспериментальную часть, выводы, список ли-

тературы, приложения. Основной текст работы изложен на 151 странице, проиллюстрирован 35 таблицами и 35 рисунками. В список литературы входит 174 источника, в том числе 63 иностранных источника.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении обоснована актуальность, охарактеризованы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, степень разработанности, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В главе 1 проанализированы риски возникновения алиментарно-зависимых заболеваний, ассоциированные с дисбалансом потребляемых пищевых продуктов и рационов. Проанализированы современные тренды, такие как глобализация, персонализация, цифровизация, оказывающие существенное влияние на производство пищевых продуктов и формирование рациона современного потребителя. Рассмотрены ассортимент, классификация и подходы к проектированию сухих пищевых смесей, представленных на отечественном рынке продуктов питания. Проведен анализ рисков возникновения заболеваний костной ткани человека, основанный на исследованиях публикаций отечественных и зарубежных ученых, анализ рекомендуемых потребностей в пищевых нутриентах и методах проектирования рационов для носителей полиморфизмов в генах *CALCR*, *VDR*, *COL1A1*, *BGP (BGLAP)*, обуславливающих генетическую предрасположенность к нарушению МПКТ.

В главе 2 приведены стандартные и специальные методы, применяемые при проведении исследований. Изучение состава и свойств сырья, полуфабрикатов и показателей качества готовой продукции проводили в научно-исследовательских лабораториях кафедр «Технологии переработки зерна, хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств» и «Персонализированной диетологии, гостиничного и ресторанного сервиса» ФГБОУ ВО «МГУТУ имени К.Г. Разумовского (ПКУ)»; научно-исследовательских лабораториях ФГАНУ «НИИ хлебопекарной промышленности», ФГБНУ «ВНИИ мясной промышленности» - филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова». Структурная схема исследований представлена на рисунке 1.

Оценку потребительских предпочтений сухих пищевых смесей осуществляли методом, основанном на выявлении представления, возможности распространения и значимости на рынке пищевых продуктов с помощью социального опроса; методом, основанным на сравнении опытных образцов с эталоном путем органолептической оценки.

Математическое моделирование и обработку результатов проводили на базе ПНИЛ «Конструирование и внедрение продуктов и рационов персонализированного питания» и на кафедре «Информационные системы и технологии» ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)».

Опытно-промышленную апробацию проводили в условиях лабораторий и производства: ИП «Старостин М.А.», г. Москва; ООО «Институт хлеба», г. Москва.

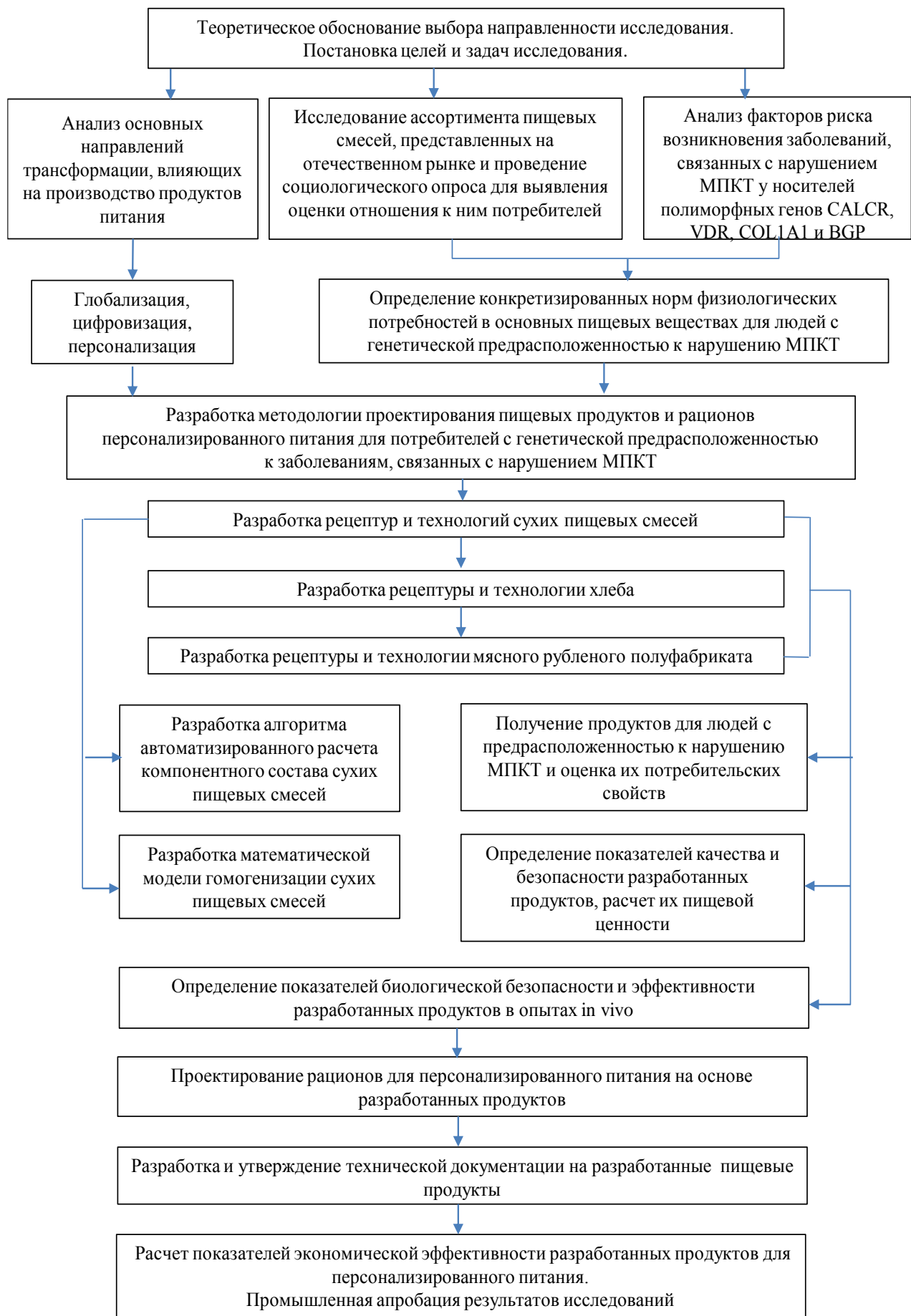


Рисунок 1 – Структурная схема исследований

Доклинические испытания проводили на лабораторных животных в инновационном научно-исследовательском центре коллективного пользования ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ им. Н.В. Парахина», г. Орел.

В главе 3 с помощью проведенного социологического опроса были определены потребительские предпочтения в отношении замены классического приема пищи на сухие пищевые смеси, представляющие собой полноценные «заменители еды» и обладающие заданным нутриентным составом. В опросе приняли участие 1163 респондента различных возрастных категорий от 17 до 75 лет. Также было установлено, что наибольшее количество опрошенных (44,7%) работают в сферах, связанных со второй группой физической активности, характеризующейся легкими формами физического труда.

Исследования в отношении осведомленности потребителей о продуктах в виде сухих пищевых смесей показали, что только 10,4 % никогда не слышали о данной продукции. Большинство опрошенных (50,8 %) пробовали сухие пищевые смеси и относятся к введению их в рацион питания положительно (рисунок 2), а наилучшем временем приема таких продуктов считают завтрак.

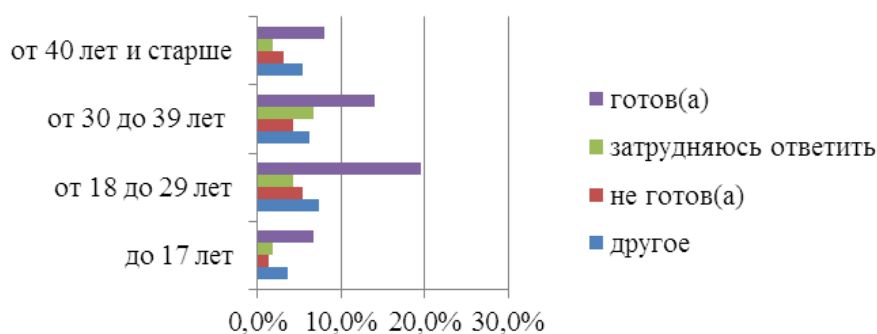


Рисунок 2 – Отношение потребителей к введению в рацион питания сухих пищевых смесей

Исследование отношения опрошенных потребителей к приему сухих пищевых смесей на завтрак говорит о высокой готовности к их употреблению (48,4 %), некоторые респонденты (14,6 %) не были уверены и отвечали: «мне нужно подумать», 14,2 % респондентов были категоричны и не готовы к приему сухих пищевых смесей на завтрак, остальные 22,8 % на вопрос ответили - «другое». Частными ответами в отношении «другое», были «в зависимости от стоимости», «иногда был бы готов» и т.п.

Мнение респондентов о частоте потребления продукции в виде сухих пищевых смесей в качестве завтрака отображено на рисунке 3.

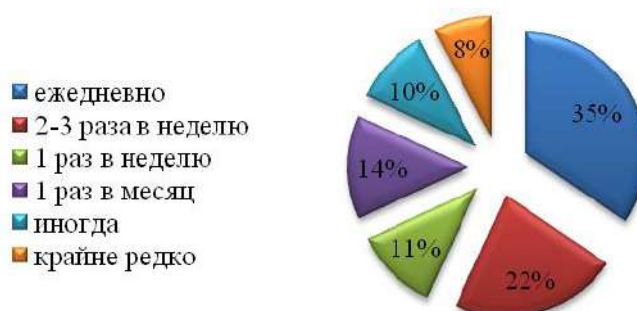


Рисунок 3 – Готовность потребителей к введению в рацион питания сухих пищевых смесей, %

Результат оценки потребительских предпочтений подтверждает заинтересованность граждан РФ в появлении на рынке пищевых смесей, так как исследования в отношении готовности к периодическому их потреблению показали, что 35% опрошенных готовы к ежедневному их потреблению.

Для разработки продукции, направленной на предупреждение заболеваний, связанных с нарушением МПКТ, необходимо придерживаться требований, учитывающих соотношение в продукте нутриентов или их комбинаций, усвоение которых детерминировано наличием полиморфизмов определенных генов.

Основными нутриентами, отвечающими за процессы метаболизма кальция, а также поддержание нормального гомеостаза костной ткани, являются: фосфор, магний, витамин D₃, витамин С, витамины В₆ и В₁₂ железо, медь, марганец, селен, кремний, цинк, бор. Поэтому потребность в этих нутриентах у людей, имеющих предрасположенность к нарушению МПКТ будет выше, чем у обычного потребителя (табл. 1).

Конкретизированные нормы потребления нутриентов при выявленной предрасположенности к нарушению МПКТ были установлены с учетом введения дополнительных коэффициентов, учитывающих повышенную потребность в них, обусловленную наличием полиморфизмов определенных генов.

Таблица 1 – Нутриенты, обеспечивающие нормализацию метаболизма костной ткани, и конкретизированные нормы их потребления для людей, имеющих предрасположенность к нарушению МПКТ

Нутриент	Среднесуточная норма потребления для людей при отсутствии предрасположенности к нарушению МПКТ	Коэф. потребления нутриента для людей с предрасположенностью к нарушению МПКТ	ПДД в сутки	Среднесуточная норма потребления для людей с предрасположенностью к нарушению МПКТ
Минеральные вещества				
Ca, мг	1000	2	2500	2000
P, мг	800	1,5	1400	1200
Mg, мг	400	1,6	700	640
Fe, мг	14	1,7	45	23,8
Cu, мг	1	2,8	5	2,8
Mn, мг	2	2	5	4
Se, мкг	55	3,8	300	209
Si, мг	30	2,1	70	63
Zn, мг	12	1,4	25	16,8
B, мг	0,3	2,2	3	0,7
K, мг	2500	1	3500	2500
Витамины				
D ₃ , мкг	10	5	50	50
C, мг	80	5	2000	400
B ₆ , мг	1,5	2,5	10,0	3,75
B ₁₂ , мкг	2,4	1,25	1000,0	3

На основании среднесуточных конкретизированных норм в ключевых пищевых веществах и энергии для людей с предрасположенностью к нарушению МПКТ был обоснован компонентный состав сухих пищевых смесей, направленный на снижение рисков возникновения заболеваний костной ткани, который

включает обогащающее сырье в виде сухих порошков из сублимированной смородины, витаминно-минерального премикса и лактата кальция.

Для проектирования рецептур сухих пищевых смесей был разработан алгоритм автоматического подбора сырья, где главным критерием оптимальности состава смесей являлся заданный эталонный нутриентный состав с учетом дополнительно введенных коэффициентов на ряд нутриентов, потребность в которых обусловлена предрасположенностью к нарушению МПКТ, при условии пропорционального соотношения основного и дополнительного сырья 88%:12%.

Для того чтобы определить набор ингредиентов по каждому отдельному нутриенту в проектируемой смеси, необходимо использовать выражение:

$$Ingr(i) = \langle ingr(i,j) \rangle, \quad i=1,N, j=1,M \quad (1)$$

где $ingr(i,j)$ – показатель качества в 100 г (j) ингредиента i .

Для расчета набора обогащающих компонентов использовали выражение:

$$Dob(k) = \langle dob(k,j) \rangle \quad k=1,K, j=1,M \quad (2)$$

где $dob(k,j)$ – показатель качества j добавки k .

Допустимым решением задачи обозначили векторы $Vingr$ и $Vdob$, которые удовлетворяют следующим ограничениям (5-8).

Ограничения:

$$\forall l \sum_{i=1}^N vingr(l,i) = s1 \quad (5)$$

$$\forall l \sum_{k=1}^K dob(l,k) = s2 \quad (6)$$

$$\forall l \forall i (vingr(l,i) \in mN) \quad (7)$$

$$\forall l \forall k (dob(l,k) \in mN) \quad (8)$$

где $s1, s2$ заданные проценты содержания основных ингредиентов и добавок соответственно ($s1 + s2 = 100$); mN – множество натуральных чисел.

Таким образом, оптимальным решением задачи будет допустимое решение, минимизирующее критерий Q , представленный ниже (9), где оптимальное значение критерия Q_{opt} определяется таким l , для которого Q минимально.

Критерий оптимизации:

$$Q(l) = \sum_{j \in J(l)} ((et(l,j) - kkup(l,j)) / et(l,j))^2, \quad (9)$$

где $J(l) = \{j | et(l,j) - kkup(l,j) > 0\}$.

На основе описанного алгоритма автоматического расчета рецептурного состава были спроектированы 4 образца сухих пищевых смесей для включения в рацион питания мужчин и женщин (в возрасте от 18 до 29 лет; в возрасте от 30 до 39 лет). Нутриентный состав спроектированных образцов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Пищевая и энергетическая ценность разработанных сухих пищевых смесей на 1 порцию (100 г)

Пищевые компоненты	Эталон Муж-18-29	Образец №1	Эталон Муж-30-39	Образец №2	Эталон Жен-18-29	Образец №3	Эталон Жен-30-39	Образец №4
Энергетическая ценность и макронутриенты								
ЭЦ, ккал	644	395,61	609	396,55	504,4	386,14	495	384,2
Белки, г	18,4	23,99	17,7	21,07	15,2	22,88	15	22,03
Жиры, г	21,4	15,93	20,2	18,0	16,8	15,44	16,6	15,15
Углеводы, г	94,5	37,91	89	36,67	73,1	38,06	71,5	39,06
Минеральные вещества								
Ca, мг	460,0	506,83	460,0	471,17	460	478,98	460	465,2
Fe, мг	5,5	27,43	5,5	24,06	7,45	26,65	7,45	25,6
P, мг	276,0	322,46	276,0	287,13	276	311,61	276	238,04
Mg, мг	147,2	55,41	147,2	48,53	147,2	54,4	147,2	54,84
Se, мкг	61,18	118,68	61,18	103,79	48,07	115,77	48,07	111,22
Zn, мг	3,9	26,02	3,9	23,02	3,9	25,38	3,9	24,42
Si, мг	14,5	36,50	14,5	38,87	14,5	35,56	14,5	35,5
Cu, мг	0,64	2,83	0,64	1,91	0,64	2,11	0,64	2,03
K, мг	575,0	519,87	575,0	465,91	575	497,80	575	302,24
Mn, мг	0,92	1,33	0,92	1,16	0,92	1,31	0,92	1,01
Витамины								
D ₃ , мкг	11,5	17,5	11,5	15,46	11,5	17,05	11,5	16,36
C, мг	92,0	336,42	92,0	238,66	92,0	337,39	92,0	335,22
B ₆ , мг	0,86	4,53	0,86	4,31	0,86	4,79	0,86	4,59
B ₁₂ , мкг	0,69	0,8	0,69	0,8	0,69	0,8	0,69	0,8

Из таблицы 2 видно, что процент удовлетворения конкретизированным нормам 1-го приема пищи (завтрака) для одной порции сухой пищевой смеси составляет: по кальцию – 101-110%, по фосфору – 86-117%, по витамину D₃ – 134-152%, по селену – 170-194% и по марганцу – 113-149%. Таким образом, спроектированные смеси могут быть рекомендованы людям с предрасположенностью к заболеваниям, связанных с нарушением МПКТ.

Таблица 3 – Физико-химические показатели качества сухих пищевых смесей

Наименование показателя	Массовая доля влаги, %	Массовая доля белков, %	Массовая доля жиров, %	Массовая доля углеводов, %	Кислотность, град.
Значения по ГОСТ 33933-2016	не более 8,0	От 20,0 до 75,0 включ.	От 5,0 до 20,0 включ.	От 20,0 до 50,0 включ.	От 8,0 до 12,0 включ.
Образец № 1	0,5	23,99	15,93	37,91	8,1
Образец № 2	0,6	21,07	18,0	36,67	8,2
Образец № 3	0,7	22,88	15,44	38,06	8,1
Образец № 4	0,5	22,03	15,15	39,06	8,1

Исследования физико-химических показателей качества позволили установить, что разработанные образцы сухих пищевых смесей не имели отклонений от требований ГОСТ 33933-2016 и могут быть рекомендованы к употреблению.

Реометрия для сыпучих пищевых масс является одним из ключевых показателей качества. При определении реометрических показателей применяли относительные (косвенные) методы, которые характеризуют структурно-механические свойства пищевых дисперсных систем (табл. 4).

Таблица 4 – Результаты измерения времени истечения (τ) и угла обрушения (α)

Наименование сыпучего образца	Время истечения, с	Угол обрушения, град
Контрольный образец	6,32	64
Образец № 1	7,05	66
Образец № 2	7,45	62
Образец № 3	5,99	60
Образец № 4	7,53	60

Исследования показали, что спроектированные смеси обладали средним уровнем сыпучести в сравнении с контрольным образцом, что, с позиции реометрических показателей, характеризуется хорошими структурно-механическими свойствами, которые будут формировать вязкостные свойства смеси и обеспечивать образование устойчивых суспензий при смешивании с жидкостью.

Исследования по микробиологическим показателям (КМАФАнМ, дрожжи и плесени, БГКП) проводились в течение 12 месяцев с целью установления их оптимального срока хранения, показатели безопасности разработанных сухих пищевых смесей определяли сразу после их приготовления и впоследствии через каждый месяц в соответствии с ТР ТС 021/2011. На основании проведенных исследований установлено, что по истечении 12 месяцев значения микробиологических показателей не превышали допустимых значений.

С целью обеспечения гомогенизации сухих пищевых смесей была разработана математическая модель процесса перемешивания, основанная на методах статистического анализа.

В качестве исходного научного положения по обоснованию процесса перемешивания смеси в условии лопастной мешалки использовалась моделирующая лопасть, имеющая плоскую поглощающую стенку, движущуюся заданным образом. В расчетах для применяемой в опытах двухлопастной мешалки коэффициент неоднородности P выбирали согласно зависимости:

$$P(t, D, U, i) = 1 - [1 - J(t, D, U) \times 2]^i, \quad (10)$$

где $p = J(t, D, U)$ – вероятность того, что пробная частица участвовала в единицу времени хотя бы в одном акте перемешивания, т.е. была бы поглощена стенкой,

$$J(t, D, U) = J(t, D, U) = \sqrt{\frac{D}{\pi l^2}} \int_0^t \xi^{-1/2} \exp[-U^2 \xi / (4D)] d\xi, \quad (11)$$

где D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; $l = Ut$ – перемешивание лопасти, U – скорость поступательного движения лопасти, $\text{м}/\text{с}$; t – время, с ; ξ – переменная интегрирования, с ; i – число оборотов лопасти.

С целью обоснования расчета эффективности процесса перемешивания частиц были проведены эксперименты на перемешивающей установке типа HURA-KAN, HKN-KS5. В качестве объекта пробного перемешивания смеси использовали две порции по 0,25 кг частиц диаметром 1,6 мм и две порции по 0,25 кг диаметром 3,2 мм, где одна из порций состояла из окрашенных (темных) зерновок, вторая из бесцветных (рисунки 4, 5).

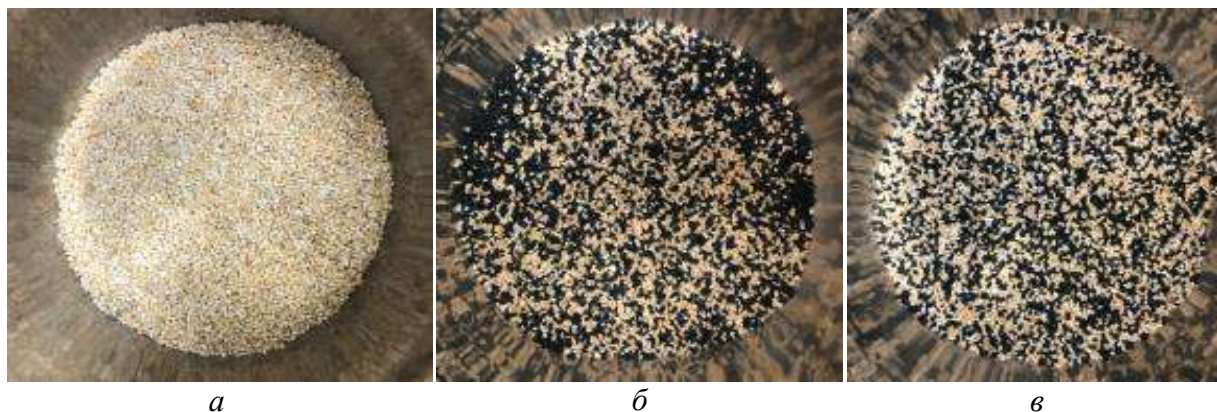


Рисунок 4 – Опыт № 1. (Сверху – зерновки бесцветные)

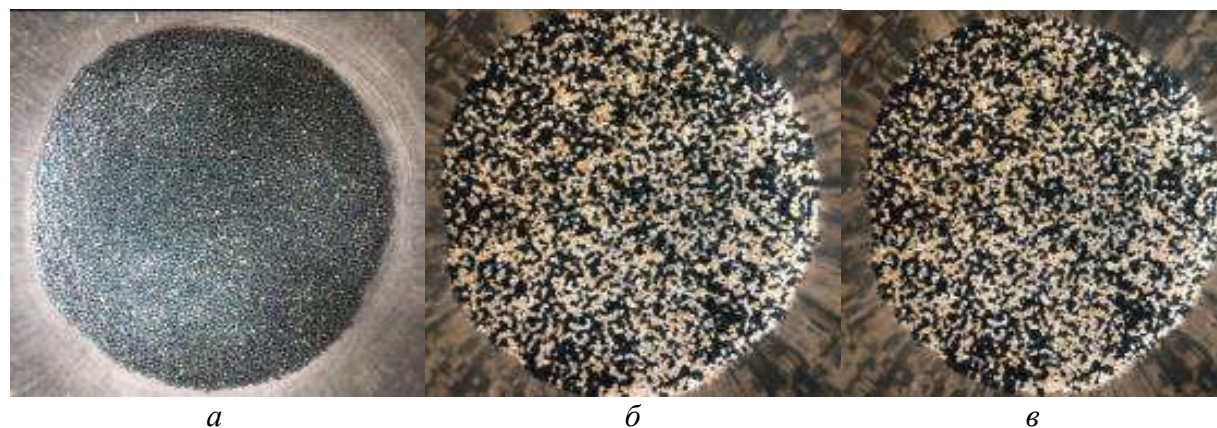


Рисунок 5 – Опыт № 2. (Сверху – зерновки окрашенные)

Эксперимент проводили до состояния, обеспечивающего примерно равномерное распределение (т.е. до значения КН $\approx 50\%$) разноцветных зерновок в рабочем объеме перемешивающего устройства (рисунок 6; кривые 1,2). Опытные измерения по числу зерновок заданного цвета через каждые 2 секунды, т.е., за два оборота лопасти, после остановки работы перемешивающего устройства, фиксировались визуально в прямоугольных окнах размерами 10×20 мм и 20×30 мм. Это обеспечивало наблюдение в совокупности примерно по 40 зерновкам в определенном месте поверхности смеси.

Результаты наблюдений (рисунки 4, 5) коэффициента неоднородности P_i ($i=10,11,\dots,19$) по всем четырем опытам перемешивания смеси на диффузионном этапе обработки, т.е. в период с 20 по 38 секунды, обрабатывались, с использованием программных продуктов информационной среды Mathcad, согласно формулам:

$$a = \sum_{i=10}^{19} P_i / 10, \sigma = \sqrt{\sum_{i=10}^{19} (P_i - a)^2 / 10} \quad (12)$$

где a – среднее арифметическое, σ – среднее квадратное отклонение.

Таблица 5 – Числовые характеристики опытных наблюдений

№ опыта	$a, \%$	$\sigma, \%$	$\sigma/a, \%$
1 (сверху частицы размером 1,6 мм светлого цвета)	45,5	5,2	11,4
2 (сверху частицы размером 1,6 мм темного цвета)	50,8	5,7	11,2
3 (сверху частицы размером 3,2 мм светлого цвета)	45,3	2,5	5,6
4 (сверху частицы размером 3,2 мм темного цвета)	52,8	8,4	15,8

Из сравнительного визуального анализа кривых рисунков 6 и 7, а также данных таблицы 5 следует, что, в целом, крупные частицы (рисунок 7) перемешиваются быстрее и лучше, чем мелкие. Это обусловлено тем, что с уменьшением размера частиц смеси их общая удельная поверхность, а, значит, и работа снижающих эффективность процесса смешения внутренних диссипативных сил (например, сил трения) возрастают.

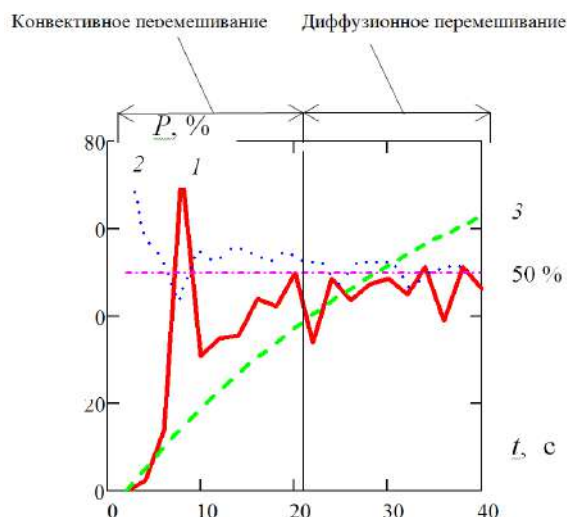


Рисунок 6 – Зависимости данных наблюдений коэффициента P неоднородности по зерновкам разного цвета от времени t обработки смеси частиц при значении коэффициента макродиффузии $D=1,2 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ (1 – бесцветные зерновки сверху, 2 – черные зерновки сверху, 3 – нормативный КН смеси)

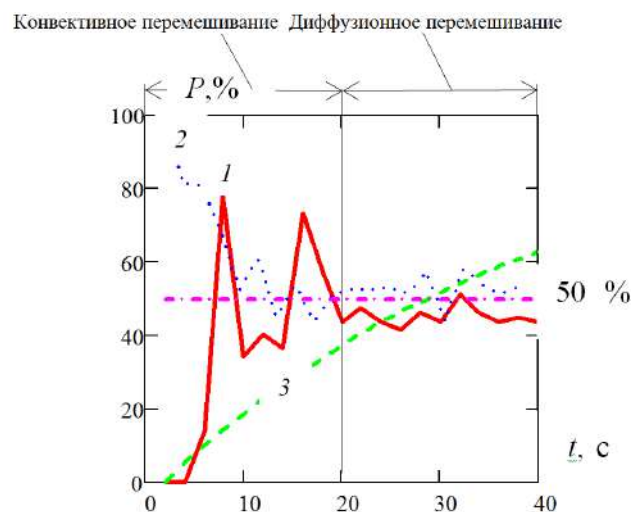


Рисунок 7 – Зависимости данных наблюдений коэффициента P неоднородности по зерновкам разного цвета от времени t обработки смеси при значении коэффициента макродиффузии $D=1,2 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ (1 – светлые зерновки сверху, 2 – темные зерновки сверху, 3 – нормативный КН смеси)

Проведенным исследованием обоснованы и опытным путем апробированы зависимости основного для численного расчета процессного коэффициента неоднородности перемешивания смесей. Полученные данные могут быть эффективно использованы в решении вопросов имитационного моделирования при разработке инновационных образцов смешивающего оборудования, а также при оптимизации времени перемешивания смесей с целью достижения их однородного состава.

В главе 4 представлены результаты разработки рационов для персонализированного питания с включением спроектированных сухих пищевых смесей. Для поддержания равновесия минерального баланса организма в качестве дополнительной корректировки рациона целесообразно применять не только сухие пищевые смеси, но и классические продукты питания, содержащие в своем составе ключевой набор нутриентов для потребителей с предрасположенностью к МПКТ. В связи с этим были разработаны следующие продукты – хлеб, обогащенный кальцием, мясной рубленый полуфабрикат с повышенным содержанием кальция и витамина D_3 .

Дополнительным сырьем при производстве хлеба являлся сывороточно-альбуминный сыр рикотта, который характеризуется повышенным содержанием кальция в сравнении с другими молочными продуктами. Были изготовлены

5 образцов ржано-пшеничного хлеба с различной дозировкой рикотты к массе муки (15/20/25/30), в качестве контрольного образца использовали рецептуру хлеба «Столовый». Данные показателей качества разработанных образцов хлеба представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Физико-химические показатели качества разработанных образцов хлеба по сравнению с контрольным

Наименование показателя	Контрольный образец	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4
Влажность мякиша, %	48,0	48,0	48,1	48,4	48,7
Кислотность мякиша, град.	7,1	7,1	7,2	7,4	7,5
Пористость, %	63,0	63,0	62,0	62,0	60,0
Объем, см ³	361	357	330	318	305
Удельный объем, см ³ /100 г хлеба	264,7	262,9	242,5	233,5	223,8
Объемный выход, см ³ /100 г муки	401,1	396,7	366,7	353,3	338,9

Данные исследований показали, что разработанные образцы №1-3 по хлебопекарным свойствам соответствовали показателям качества для изделий, выпеченных из смеси ржаной и пшеничной муки второго сорта, и соответствовали нормам, установленным ГОСТ 2077-84 и методическим рекомендациям, разработанным в НИИ хлебопекарной промышленности. Образец №4 характеризовался более низким объемным выходом и удельным объемом, что не позволило сделать вывод о его соответствии установленным нормам. Анализ пищевой ценности позволил установить, что добавление в рецептуру ржано-пшеничного хлеба сыра рикотты в количестве 25% к общей массе муки, повышает его пищевую ценность сразу по ряду показателей: увеличивается содержание кальция на 70%, фосфора на 30%, селена на 45%, цинка на 29%, витамина А на 90%.

Была разработана технология производства мясного рубленого полуфабриката с повышенным содержанием кальция и витамина D₃, где часть мясного сырья заменили на соевую текстурированную муку и жир-сырец на жир пищевой из рыбы и водных млекопитающих. По физико-химическим исследованиям было установлено, что рациональная замена мясного сырья составляет 8%. Для более точной органолептической оценки были проведены инструментальные мультисенсорные исследования на приборе «VOCmeter» контрольного и опытного образцов с заменой мяса на 8% (рисунки 8, 9).

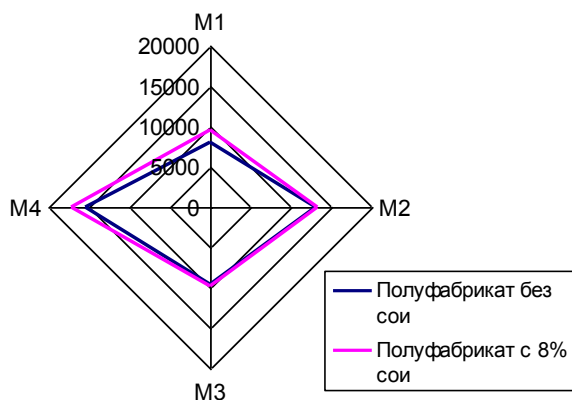


Рисунок 8 – «Визуальные отпечатки» запаха мясного рубленого полуфабриката

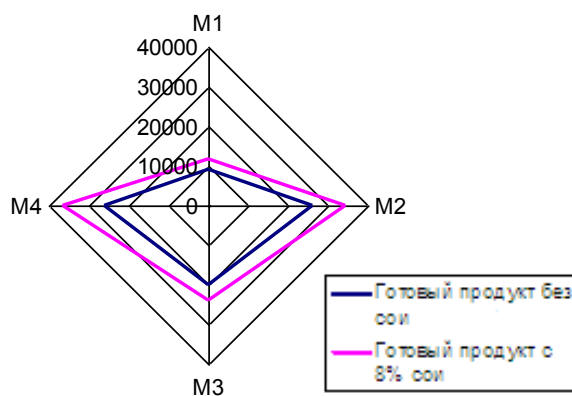


Рисунок 9 – «Визуальные отпечатки» запаха мясного рубленого полуфабриката в готовом виде

В результате проведения сравнительного анализа «визуальных отпечатков» установлено, что интенсивность запаха мясного рубленого полуфабриката с соевой текстурированной мукой на 11,2% больше по сравнению образцами, выработанными без использования сои.

Химический состав мясного рубленого полуфабриката показал, что с добавлением соевого белка и рыбьего жира происходит значительное увеличение содержания кальция, витамина А, фосфора, витамина В₉, а также витамина D₃, который, наряду с кальцием, является незаменимым нутриентом, участвующем в образовании костной ткани.

Для оценки безопасности и влияния разработанных продуктов на показатели биохимического состояния крови были проведены доклинические испытания на лабораторных животных. Для проведения эксперимента были сформированы 4 группы по 10 животных в каждой. Кормление контрольной группы проводилось стандартным кормом, в опытных группах 25% стандартного корма заменили на разработанные продукты (в опытной группе 1 – на сухую пищевую смесь; в опытной группе 2 – на хлеб; в опытной группе 3 – на мясной рубленый полуфабрикат). Анализ крови осуществляли по следующим биохимическим и гематологическим показателям: лейкоциты, АЛТ (аланинаминотрансфераза) и АСТ (аспарагинаминотранс-фераза), глюкоза, общий белок, щелочная фосфатаза, мочевины, гемоглобин, кальций и фосфор.

Таблица 7 – Показатели крови лабораторных животных

№ п/п	Показатели	Контрольная группа	Опытная группа 1	Опытная группа 2	Опытная группа 3
1.	Лейкоциты, тыс/л	8,6	8,13	8,5	8,6
2.	АЛТ, ед/л	318,13	321,01	316,53	317,03
3.	АСТ, ед/л	72,16	71,77	72,31	71,47
4.	Глюкоза, ммоль/л	8,03	9,03	8,44	8,27
5.	Общий белок, г/л	197,02	191,01	192,33	191,04
6.	Щелочная фосфатаза, ед/л	1193,2	1197,1	1197,3	1197,3
7.	Мочевина, г/л	4,88	5,62	5,38	4,82
8.	Гемоглобин, г/л	6,88	7,26	7,15	7,11
9.	Фосфор, ммоль/л	5,13	4,11	5,48	5,11
10.	Кальций, ммоль/л	8,04	7,13	7,36	6,62

Анализ биохимических показателей опытных групп 2 и 3 в сравнении с контрольной не показывал изменение активности ферментов АЛТ и АСТ, что свидетельствует о безопасности разработанных продуктов. Наблюдалось увеличение в сыворотке крови активности щелочной фосфатазы на 1,3% и повышение уровня гемоглобина на 5,5%.

Щелочная фосфатаза принимает участие в кальциево-фосфорном обмене, и снижение уровня ионов кальция в крови подопытных животных может быть обусловлено повышением их всасывания. Поэтому данный фактор косвенно может свидетельствовать о динамическом процессе укрепления костной ткани и указывать на возможность профилактики развития остеопороза.

Основной задачей при проектировании рациона для персонализированного питания является процедура составления цифровой модели рациона, которая

позволит провести оценку соответствия разработанного рациона заданным нормам потребления и удовлетворенности физиологических потребностей в основных нутриентах. Построение модели рациона для персонализированного питания проводили в нескольких этапов:

- определяли физиологические нормы потребления для целевой группы питающихся, имеющих предрасположенность к нарушению МПКТ;

- формировали шаблон меню по разделам (закуски и холодные блюда, первые блюда, горячие блюда, гарниры, напитки и т.д.) и приемам пищи (3-х разовое, 4-х разовое, 5-ти разовое), включая сухую пищевую смесь в качестве одного полноценного приема пищи (завтрак), а также мясного рубленого полуфабриката и хлеба, входящих в комплексные блюда, в другие приемы пищи;

- заполняли меню по дням недели с учетом количества выхода порций, сочетаемости и неповторимости блюд;

- проводили анализ автоматически рассчитанного количества нутриентов в проектируемом рационе на соответствие нормам и, при необходимости, возвращались к заполнению меню и его корректировке.

На основе предложенного алгоритма были спроектированы 4 рациона с разделением по половому признаку и возрасту. Спроектированные рационы представлены в приложении №11 диссертационной работы.

В результате составления меню с включением разработанных продуктов были получены откорректированные варианты меню и рассчитаны среднесуточные нутриентные показатели, представленные в таблице 8.

Как следует из таблицы 8, по ключевым нутриентам, имеющим наиболее важное значение в купировании проявления наследственных заболеваний, связанных с нарушением МПКТ, обеспечивается практически полное совпадение фактических значений с заданными (отклонения не превышают 5%), по другим нутриентам имеются отклонения от заданной нормы, не превышающие 10%.

Выявление конкурентных преимуществ разработанных продуктов осуществляли с помощью сравнительного анализа ближайших аналогов по соотношению ценового диапазона. В результате было установлено, что стоимость 1-ой порции разработанной смеси будет на 39% ниже, хлеба – на 12%, мясного рубленого полуфабриката – на 24,5%, в сравнении с ближайшим аналогом.

Таблица 8 – Среднедневные значения нутриентных показателей отредактированных рационов питания

Нутриент	Рацион 1 (мужчины 18-29 лет)			Рацион 2 (мужчины 30-39 лет)			Рацион 3 (женщины 18-29 лет)			Рацион 4 (женщины 30-39 лет)		
	Среднее	Норма	% отклонения от нормы	Среднее	Норма	% отклонения от нормы	Среднее	Норма	% отклонения от нормы	Среднее	Норма	% отклонения от нормы
Энергия*, ккал	2857	2800	+2,0%	2649,7	2650	-0,1%	2208	2200	+0,4%	2149,3	2150	-0,1%
Белки, г	82,5	80	+3,1%	80,2	77	+3,9%	68,6	66	+3,9%	66,2	65	+1,7%
Жиры, г	98,7	93	+6,1%	93,1	88	+5,7%	77,4	73	+6,0%	76,3	72	+5,9%
Углеводы, г	409,3	411	-0,4%	372,7	387	-3,8%	309,3	318	-2,8%	299,5	311	-3,7%
ПВ, г	20,7	20	+3,5%	20,2	20	+1,0%	20,6	20	+3,0%	20,8	20	+4,0%
Кальций, мг	1946	2000	-2,7%	1943	2000	-2,85%	1955	2000	-2,25%	1967	2000	-1,65%
Фосфор, мг	1232	1200	+2,6%	1247	1200	+3,9%	1257	1200	+4,75%	1252	1200	+4,3%
Магний, мг	641	640	0%	624,3	640	-2,5%	618,6	640	-3,3%	632,2	640	-1,2%
Калий, мг	2386	2500	-4,6%	2391	2500	-4,4%	2375	2500	-5,0%	2392	2500	-4,3%
Натрий, мг	1255	1300	-3,5%	1285	1300	-1,2%	1267	1300	-2,6%	1270	1300	-2,3%
Хлориды, мг	2361	2300	+2,6%	2294	2300	-0,3%	2312	2300	+0,5%	2297	2300	0,1%
Железо, мг	26,3	23,8	+10,5%	25,7	23,8	+7,9%	33,1	32,4	+2,2%	32,7	32,4	+0,9%
Цинк, мг	17,3	16,8	+3,0%	17,2	16,8	+2,4%	17,0	16,8	+1,2%	16,6	16,8	-1,2%
Йод, мкг	142	150	-5,4%	141	150	-6,0%	144	150	-4,0%	139	150	-7,3%
Бор, мг	0,74	0,7	+5,7%	0,77	0,7	+10,0%	0,68	0,7	-2,86%	0,72	0,7	+2,8%
Медь, мг	3,0	2,8	+7,1%	2,9	2,8	+3,5%	2,82	2,8	+0,7%	2,83	2,8	+1,1%
Марганец, мг	3,9	4,0	-2,5%	4,1	4,0	+2,5%	3,86	4,0	-3,5%	3,79	4,0	-5,0%
Селен, мкг	252	266	-5,3%	252	266	-5,3%	216,2	209	+3,4%	212,0	209	+1,5%
Кремний, мг	69	63	+9,5%	68	63	+7,9%	66	63	+4,8%	67	63	+6,3%
Хром, мкг	46	50	-8,0%	45,5	50	-9,0%	45,8	50	-8,4%	48	50	-4,0%
Фтор, мг	4,1	4,0	+2,5%	4,0	4,0	0%	4,1	4,0	+2,5%	3,9	4,0	-2,5%
Витамин С, мг	413	400	+3,25%	398	400	-0,5%	407	400	+1,75%	389	400	-2,75%
Витамин В ₁ , мг	1,4	1,5	+6,7%	1,53	1,5	+2,0%	1,47	1,5	-2,0%	1,46	1,5	-2,7%
Витамин В ₂ , мг	1,9	1,8	+5,5%	1,82	1,8	+1,1%	1,86	1,8	+3,3%	1,76	1,8	-2,2%
Витамин В ₆ , мг	4,03	3,75	+7,5%	3,82	3,75	+1,9%	3,93	3,75	+4,8%	3,73	3,75	-0,53%
Ниацин, мг	19,2	20	-3,5%	18,6	20	-7,0%	18,9	20	-5,5%	19,4	20	-3,0%
Витамин В ₁₂ , мкг	3,2	3,0	+6,6%	3,1	3,0	+3,3%	3,12	3,0	+4,0%	3,1	3,0	+3,3%
Фолаты, мкг	381,8	400	-4,5%	379,6	400	-5,1%	378,1	400	-5,5%	379,0	400	-5,25%
Пантотеновая кислота, мг	4,7	5,0	-6,0%	4,8	5,0	-4,0%	4,68	5,0	-6,4%	4,7	5,0	-6,0%
Витамин А, мкг	893	900	+0,8%	888	900	-1,4%	891	900	-1,0%	886	900	-1,6%
Витамин Е, мг	16,2	15	+8,0%	15,4	15	+2,6%	15,7	15	+4,7%	15,5	15	+3,3%
Витамин D ₃ , мкг	52,0	50	+4,0%	52,0	50	+4,0%	51,7	50	+3,4%	51,7	50	+3,4%
Витамин К, мкг	113,1	120	-5,8%	112	120	-6,6%	114	120	-5,0%	112	120	-6,6%

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате завершено комплексного теоретического и экспериментального исследования разработаны основные методы проектирования и товаро-ведной оценки продуктов и рационов персонализированного питания на основе генетических особенностей потребителей. Основные научные и практические результаты, полученные при выполнении работы, представлены в выводах:

1. Анализ основных социальных тенденций и направлений трансформации в области продовольственного обеспечения показал, что в настоящее время с усилением трендов персонализации, глобализации и цифровизации наиболее перспективным подходом к технологии создания новых пищевых продуктов является концепция персонализированного питания, основанная на принципах учета индивидуального нутрициологического статуса потребителя.

2. Исследован отечественный рынок пищевых смесей и выявлены потребительские предпочтения в отношении сухих пищевых смесей заданного нутриентного состава. Установлено, что 35 % опрошенных потребителей готовы к включению сухих пищевых смесей в ежедневные рационы питания в качестве альтернативы классическому питанию.

3. Обоснована взаимосвязь наличия полиморфизма генов CALCR (способствует уменьшению вымывания кальция), VDR (отвечает за восприимчивость витамина D₃), COL1A1 и BGP (BGLAP) (отвечают за связывание и всасывание кальция) с возникновением и развитием заболеваний, связанных с нарушением МПКТ. Для снижения проявления заболеваний, связанных с нарушением МПКТ сформированы подходы к проектированию объектов для персонализированного питания, основанные на конкретизации норм потребления ряда нутриентов.

4. Установлены конкретизированные нормы потребления нутриентов, являющихся ключевыми в патогенезе остеопороза и других заболеваний, ассоциированных с нарушением МПКТ, среднесуточные значения которых составляют: по кальцию – 2000 мг, по фосфору – 1200 мг, по магнию – 640 мг, по меди – 2,8 мг, по кремнию – 63 мг, по цинку – 16,8 мг, по железу – 23,8 мг (для мужчин) и 32,4 мг (для женщин), по селену – 266 мкг (для мужчин) и 209 мкг (для женщин), по витамину D₃ – 50 мкг, по витамину С – 400 мг, по витамину B₆ – 3,75 мг, по витамину B₁₂ – 3,0 мкг. Установленные нормы не превышают максимальных значений, рекомендованных Методическими рекомендациями МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».

5. Разработана математическая модель гомогенизации сухих пищевых смесей, основанная на базе методов статистического анализа, и учитывающая размер гранул и скорость конвективного переноса частиц смеси. Разработанная модель позволяет оптимизировать время перемешивания компонентов смеси в зависимости от размера ее гранул с достижением заданной степени однородности.

6. Разработан алгоритм автоматизированного расчета компонентного состава сухой пищевой смеси, позволяющий проектировать рецептуры, максимально приближенные по нутриентному составу к заданному эталонному соотношению ключевых в процессе формирования МПКТ витаминов и минеральных веществ.

7. Разработаны рецептуры и технологии сухих пищевых смесей заданного нутриентного состава, хлеба с повышенным содержанием кальция, мясного рубленого полуфабриката с повышенным содержанием кальция и витамина D₃. Выявлено, что процент удовлетворения норм потребления одного приема пищи (завтрака) для одной порции сухой пищевой смеси с учетом конкретизации составляет: по кальцию – 101-110%, по фосфору – 86-117%, по витамину D₃ – 134-152%, по селену – 170-194% и по марганцу – 113-149%. Проведена оценка безопасности и влияния на биохимические показатели крови лабораторных животных разработанных изделий, подтвержденная протоколом испытаний *in vivo* и протоколом об этическом обращении с лабораторными животными. Результаты не показали изменения активности ферментов АЛТ и АСТ, что свидетельствует о безопасности разработанных продуктов. Увеличение в сыворотке крови активности щелочной фосфатазы на 1,3% может косвенно свидетельствовать о динамическом процессе укрепления костной ткани и указывать на возможность профилактики развития остеопороза.

8. Спроектированы рационы питания с разделением по половому признаку, возрасту и группе физической активности, обеспечивающие удовлетворение норм в конкретизированных среднечасовых нутриентных потребностях со средним отклонением от заданного эталона, не превышающим 10%.

9. Разработана и утверждена техническая документация на созданные продукты для персонализированного питания. Проведенные опытно-производственные испытания сухой пищевой смеси «Нутриген» в ИП «Старостин М.А.», а также хлеба ржано-пшеничного «Кальций 2.0» в ООО «Институт хлеба» доказали возможность и целесообразность приготовления разработанных продуктов в условиях пищевого производства. Результаты оценки экономической эффективности показали, что производство сухих пищевых смесей, хлеба и мясного рубленого полуфабриката является экономически выгодным и доступным для среднестатистического потребителя.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

I. Статьи в журналах, рецензируемых ВАК Минобрнауки РФ

1. Иванова, В.Н. Разработка комплексного рациона с применением пищевой смеси быстрого приготовления для целевой группы потребителей с предрасположенностью к сердечно-сосудистым и эндокринным заболеваниям / В.Н. Иванова, И.А. Никитин, Н.М. Портнов, М.В. Клоконос, В.В. Фальков // Пищевая промышленность. –2019. – № 3. – С. 62-67.

2. Никитин, И.А. Проектирование пищевых смесей быстрого приготовления для людей, имеющих предрасположенность к нарушению минеральной плотности костной ткани / И.А.

Никитин, Д.А. Велина, М.В. Клоконос, Н.Г. Иванова, М.Ф. Хайруллин, Ш. Муталлибзода // *Хлебопродукты*. – 2019. – № 11. – С. 44-47.

3. Семенов, Е.В. К расчету процесса перемешивания тонкодисперсного порошка / Е.В. Семенов, А.А. Славянский, И.А. Никитин, Г.П. Капица, М.В. Клоконос // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. – 2020. – № 3. – С. 3-6.

4. Семенов, Е.В. К расчету процесса перемешивания сыпучего материала / Е.В. Семенов, А.А. Славянский, И.А. Никитин, М.В. Клоконос, Д.И. Митрошина // *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. – 2020. – № 10. – С. 3-6.

II. Статьи, опубликованные в журналах международных баз WoS и Scopus

5. Semenov, E.V. Calculation of Finely Dispersed Powder Mixing Process / E.V. Semenov, A.A. Slavyanskii, G.P. Kapitsa, I.A. Nikitin, M.V. Klokonos // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2020. – №56. – P.167–175. (DOI: 10.1007/s10556-020-00755-2)

6. Semenov, E.V. Calculating the process of mixing fine-dispersed particles / E.V. Semenov, A.A. Slavyanskii, I.A. Nikitin, M.V. Klokonos // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – №1560 (1). – P. 012-016. (DOI: 10.1088/1742-6596/1560/1/012016).

7. Semenov, E.V. Calculation of bulk materials mixing process / E.V.Semenov, A.A. Slavyanskii, I.A. Nikitin, M.V. Klokonos, D.P. Mitroshina // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2021.– № 56 (9-10). –P. 779-786(DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-021-00842-y>).

III. Публикации в других изданиях и материалах конференций

8. Клоконос, М.В. Способы подтверждения функциональности хлебобулочных изделий / М.В. Клоконос, Н.Г. Семенкина // *Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: материалы VI Международной научно-технической конференции (Воронеж, 11-12 декабря 2017 г.)*. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГУ-ИТ», 2017. – С. 566-571.

9. Никитин, И.А. Способы повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий / И.А. Никитин, Н.Г. Семенкина, М.В. Клоконос // *Наука – главный фактор инновационного прорыва в пищевой промышленности: материалы юбилейного форума, посвященного 85-летию со дня основания ФГАНУ «Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности» (Москва, 23-24 ноября 2017 г.)*. – Москва: ФГАНУ «НИИХП», 2017. – С. 137-140.

10. Никитин, И.А. Разработка теоретических подходов к созданию индивидуального управляемого рациона на основе методов персонализированного питания / Никитин И.А., Клоконос М.В., Гончарова А.С. // *Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы IV научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Краснодар, 23 марта 2018 г.)*. – Краснодар: КубГАУ им. И.Т. Трубилина, 2018. – С. 413-420.

11. Никитин, И.А. Применение методики биотестирования для подтверждения функциональности продуктов питания / И.А. Никитин, Н.Г. Семенкина, М.В. Клоконос // *Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: материалы VII Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ, профессора Зубченко А.В. (Воронеж, 13-15 июня 2018 г.)*. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГУИТ», 2018. – С. 265-267.

12. Никитин, И.А. Разработка модели персонализированного питания с применением базиса нутригеномики / И.А. Никитин, М.В. Клоконос, В.Л. Пашенко // *Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию факультета технологии и товароведения Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Воронеж, 07-09 ноября 2018 г.)*. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГАУ», 2017. – С. 179-183.

13. Никитин, И.А. Проектирование персонализированных пищевых продуктов для людей с нарушенным синтезом α -Токоферола / И.А. Никитин, Н.М. Портнов, Н.Г. Иванова, М.В. Клоконос // Хлебопекарное производство в России-2018: материалы докладов XIV Международной конференции (Москва, 26-28 ноября 2018 г.). – Москва: НОЧУ ДПО «МПА», 2018. – С. 51-53.

14. Никитин, И.А. Разработка пищевой смеси быстрого приготовления для людей с предрасположенностью к нарушению костного метаболизма / И.А. Никитин, Д.А. Велина, Ш. Муталлибзода, М.В. Клоконос, А.А. Братчикова // Товаровед продовольственных товаров. – 2019. – № 10. – С. 57-61.

15. Никитин, И.А. Проектирование пищевых смесей быстрого приготовления для людей с генетической предрасположенностью к нарушению костного метаболизма / И.А. Никитин, Д.А. Велина, М.В. Клоконос // Пищевые технологии будущего: инновационные идеи, научный поиск, креативные решения: материалы научно-практической молодежной конференции, посвященной памяти Р.Д. Поландовой (Москва, 05 июня 2019 г.). – Москва: ФГАНУ «НИИХП», 2019. – С. 160-169.

16. Клоконос, М.В. О возможности разработки персонализированных смесей быстрого приготовления на основании генетических предрасположенностей потребителя / М.В. Клоконос // Пищевые технологии будущего: инновационные идеи, научный поиск, креативные решения: материалы научно-практической молодежной конференции, посвященной памяти Р.Д. Поландовой (Москва, 05 июня 2019 г.). – Москва: ФГАНУ «НИИХП», 2019. – С. 129-132.