

На правах рукописи



**Рождественская Лада Николаевна**

**РАЗВИТИЕ НАУЧНОЙ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ И РАЦИОНОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕЛКОВОСОДЕРЖАЩЕГО  
РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Екатеринбург – 2026

Диссертационная работа выполнена на кафедре технологии питания  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

**Научный консультант:** **Чугунова Ольга Викторовна** (Россия),  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой технологии питания  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
экономический университет»

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, доцент  
**Никитин Игорь Алексеевич** (Россия),  
заведующий кафедрой пищевых технологий  
и биоинженерии ФГБОУ ВО «Российский  
экономический университет  
имени Г. В. Плеханова»

доктор технических наук, доцент  
**Губаненко Галина Александровна** (Россия),  
заведующий кафедрой технологии и организации  
общественного питания ФГАОУ ВО «Сибирский  
федеральный университет»

доктор химических наук, профессор  
**Красноштанова Алла Альбертовна** (Россия),  
профессор кафедры биотехнологии  
ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический  
университет имени Д. И. Менделеева»

**Ведущая организация:** ФГБУН Сибирский федеральный научный центр  
агробиотехнологий Российской академии наук  
(СФНЦА РАН)

Защита диссертации состоится 30 мая 2026 г. в 09:00 на заседании  
диссертационного совета 24.2.425.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Уральский  
государственный экономический университет», по адресу: 620144, г. Екатеринбург,  
ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, ФГБОУ ВО «Уральский государственный  
экономический университет», зал диссертационных советов (ауд. 150).

Отзывы на автореферат, заверенные гербовой печатью, просим направлять  
по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ГСП-985, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», ученому  
секретарю диссертационного совета 24.2.425.03.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО  
«Уральский государственный экономический университет». Автореферат размещен  
на официальном сайте ВАК при Минобрнауки России: <https://vak.gisnauka.ru>  
и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»:  
<http://science.usue.ru>.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

 Л. А. Донскова

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** Производство продуктов здорового питания с заданными характеристиками из отечественного сырья, позволяющих осуществлять коррекцию пищевого статуса, может быть связано с использованием потенциала бобовых культур. Применение бобовых не только как источника растительного белка, но и как сырьевого ингредиента, формирующего качественные характеристики получаемой на их основе пищевой продукции, сопряжено с рядом проблем, в числе которых наличие антипитательных веществ, которые снижают биодоступность белка, витаминов и минеральных веществ. Это делает актуальными научные исследования и разработку технологий, направленных на снижение содержания антипитательных компонентов в бобовых, повышение биодоступности, улучшение органолептических и функционально-технологических свойств.

Необходимость решения задач, направленных на оптимизацию структуры питания населения, отражена в указе Президента РФ «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 г. и на перспективу до 2036 г.». Стратегией повышения качества пищевой продукции до 2030 г. и постановлением Президиума РАН «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки» среди важнейших задач указаны обоснование принципов здорового и оптимального питания человека, профилактика алиментарных и алиментарно-зависимых заболеваний, создание адекватных инструментов поддержки принятия управленческих решений при формировании новых пищевых систем и рационов.

Поиск решений, направленных на создание возможностей достижения Целей устойчивого развития, предполагает ряд системных действий, среди которых: активное использование систем нутриентного профилирования (НП) как основы здорового питания; целенаправленное изменение продовольственных систем для снижения рисков для продовольственной безопасности и питания; сдвиг в питании в сторону расширения использования растительного белка, особенно бобовых культур (EAT-Lancet); использование потенциала национальных программ питания для обеспечения системного оздоровления рационов и устойчивости продовольственных систем.

Вышеизложенное обуславливает актуальность поиска решений, которые позволят обеспечить доступность здоровых устойчивых рационов населения с акцентом на использование потенциала продуктов переработки бобового сырья. С этой точки зрения востребованным становится научно-практический подход к формированию пищевых продуктов и рационов на основе концепции нутриентной плотности, что соответствует критериям здорового питания, с одной стороны, и задачам обеспечения устойчивости продовольственной системы – с другой.

**Степень разработанности темы.** Значительный теоретический и практический вклад в решение задач оптимизации питания различных целевых групп, проектирования и разработки пищевой продукции и рационов с заданными характеристиками внесли отечественные и зарубежные ученые: И. М. Скурихин, М. П. Григорьева, М. Н. Волгарев, А. М. Уголев, А. А. Покров-

ский, В. А. Тутельян, Г. Г. Онищенко, И. Я. Конь, Д. Б. Никитюк, И. А. Евдокимов, Л. М. Аксенова, В. С. Баранов, А. К. Батулин, С. В. Симоненко, Н. М. Дерканосова, В. Ф. Добровольский, Л. В. Антипов, Н. И. Дунченко, Ю. А. Ивашкин, О. Н. Красуля, В. М. Позняковский, И. Ю. Потороко, А. Ю. Просеков, И. М. Чернуха, И. И. Протопопов, И. А. Никитин, В. Г. Попов, Н. Г. Машенцева, В. М. Коденцова, И. А. Рогов, М. М. Andreasen, R. G. Cooper, S. K. Amit, T. Varzakas, V. R. Preedy и др.

Вопросы обеспечения устойчивости продовольственных систем и роли программ питания в этом процессе рассматриваются в работах W. Willett, J. Rockström, B. Loken, M. Springmann, T. Lang, S. Vermeulen, J. A. Foley, M. Harvey и др.

Вопросы развития концепции нутриентной плотности и особенностей создания на ее основе систем НП представлены в основном в работах зарубежных авторов A. Drewnowski, T. Suzuki, H. Fu, C. H. Lee, R. Wakayama и др.

Изучению особенностей и разработке практических решений в области переработки и получения продуктов на основе бобового сырья посвящены работы Л. В. Антиповой, Н. С. Родионова, А. А. Красноштанова, Г. А. Губаненко, А. И. Жаринова, И. Ю. Резниченко, Д. В. Купчак, В. С. Петибской, Т. М. Бойцовой, С. М. Доценко, Г. Р. Робертс, Л. В. Шульгиной, M. G. Lindhauer, A. Singhal и др.

Научные результаты вышеперечисленных ученых послужили основой для разработки методологического подхода к формированию системы НП и алгоритма его использования при ранжировании и проектировании пищевой продукции с повышенной нутриентной плотностью.

**Цель и задачи исследования.** *Цель исследования* – разработка и апробация научно-методологического подхода к проектированию и оценке качества пищевых систем и рационов на основе применения концепции нутриентной плотности.

Для достижения цели были поставлены следующие *задачи*:

1) разработать с использованием интеллектуальных цифровых технологий научно-методологический подход к созданию и применению системы мониторинга, ранжирования и оценки проектируемых и существующих пищевых продуктов и рационов здорового устойчивого питания с использованием цифровых технологий;

2) обосновать использование концепции нутриентной плотности, сформировать инструменты нутриентного профилирования, включая: принципы системы нутриентного профилирования (СНП), модель нутриентного профилирования (МНП) и алгоритм разработки интегрального показателя оценки качества рационов (ИПОКР);

3) на основе систематизации современных представлений об альтернативных источниках белка и их роли для здоровья населения и устойчивости продовольственных систем обосновать использование белковосодержащего растительного сырья на основе критически важных бобовых культур в рационе питания человека с помощью гармонизированной системы РВ-анализа;

4) провести анализ современных технологий переработки и модификации продукции из бобового сырья и предложить методологию проектирова-

ния белковосодержащих пищевых систем на основе разработанной унифицированной системы оценки качества и функционально-технологических свойств (ФТС);

5) изучить влияние механоферментативного гидролиза (МФГ) на динамику ФТС и распределение фракций молекулярной структуры белка ППБС; установить взаимосвязи между показателями ФТС и пептидной структурой белка;

6) обосновать систему принятия решений по разработке рецептур и технологии продуктов на основе бобового сырья; апробировать оригинальную МНП при разработке рецептуры и технологии эмульсионных, пастообразных и фаршевых пищевых систем, блюд и полуфабрикатов, полученных с использованием БСПБС;

7) обосновать использование и определить эффективность влияния СВЧ-обработки на снижение содержания антипитательных веществ в БСПБС;

8) провести оценку качества, безопасности готовых изделий, установить вариативность показателей при хранении, разработать техническую документацию и провести производственную апробацию;

9) апробировать предлагаемый научно-практический подход на примере использования модулей программного средства, реализующих расчеты МНП и ИПОКР на этапах проектирования рецептур пищевых систем, оценки нутриентной плотности, ранжирования пищевой продукции и комплексной оценки качества и эффективности рационов.

**Научная концепция** исследования заключается в разработке, научном обосновании и апробации научно-практического подхода к проектированию и оценке качества пищевых систем и рационов здорового устойчивого питания для различных целевых групп населения, базирующегося на концепции нутриентной плотности, применении гармонизированного РВ-анализа («риск – выгода») и цифровых инструментов.

**Научная новизна.** Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 4, 10, 11, 12, 19 Паспорта специальности 4.3.3:

1. Разработан и обоснован методологический подход к созданию и применению системы мониторинга, оценки и ранжирования проектируемых и существующих пищевых продуктов и рационов устойчивого здорового питания, основанный на интеграции аппарата нечеткой логики, интеллектуальных цифровых технологий и концепции нутриентной плотности (п. 19).

2. Обоснован и апробирован методический подход к формированию системы нутриентного профилирования (включая принципы и алгоритм разработки МНП), разработана МНП и интегральный показатель оценки качества рационов (ИПОКР); обосновано использование созданных МНП и ИПОКР при ранжировании и проектировании пищевой продукции и рационов с повышенной нутриентной плотностью (п. 11).

3. Научно обосновано применение разработанной гармонизированной системы РВ-анализа («риск – выгода»), обеспечивающей комплексную оценку и ранжирование вариантов альтернативных белковых источников с одновременным учетом показателей пищевой ценности, потенциальных

рисков и факторов устойчивости при формировании и проектировании новых пищевых систем (п. 12).

4. Разработана и экспериментально подтверждена методология проектирования белковосодержащих пищевых систем на основе унифицированной системы оценки качества и ФТС бобовых белковых ингредиентов (сухих изолятов, концентратов и гидролизатов), обеспечивающая сопоставимость ФТС и их целенаправленное использование при выборе сырья и режимов обработки (п. 4).

5. Впервые установлены закономерности влияния механоферментативного гидролиза (МФГ) на динамику ФТС и распределение фракций молекулярной (пептидной) структуры белка; выявлены взаимосвязи между показателями ФТС и пептидным профилем при варьировании степени механотонкого измельчения и ферментативного воздействия, что создает основу для целенаправленного проектирования пищевых систем (п. 10).

6. Научно обосновано и экспериментально подтверждено использование СВЧ-обработки как технологического приема снижения содержания антипитательных веществ в продуктах переработки бобовых; установлена эффективность и направленность изменений содержания фитиновой кислоты и ингибитора протеаз в зависимости от параметров СВЧ-воздействия (в режиме: мощность 800 Вт; частота 2450 МГц, экспозиция 60 с) (п. 10).

7. Разработан и апробирован цифровой инструментарий реализации научно-практического подхода к проектированию и оценке пищевых систем и рационов на основе модуля программного средства, обеспечивающих автоматизированный расчет МНП и ИПОКР на этапах разработки рецептур, оценки нутриентной плотности, ранжирования пищевой продукции и комплексной оценки качества и эффективности рационов. Показана воспроизводимость результатов и возможность применения модулей для поддержки принятия решений при работе с разнородными и неполными данными (п. 4).

**Методология и методы исследований.** Методология диссертационной работы базировалась на интеграции сбора и анализа научной информации, систематизации результатов теоретических и экспериментальных исследований в области проектирования продуктов питания и рационов для различных целевых групп. При проведении комплексной оценки качества сырья и готовой продукции применяли общепринятые, стандартные и специальные методы исследования с последующей математической обработкой полученных результатов.

**Положения, выносимые на защиту:**

– методологический подход к оценке и ранжированию пищевых систем и рационов на основе интеллектуальных цифровых технологий сбора/обработки/анализа данных, на основе нутриентной плотности и использования нечеткой логики;

– принципы и структура системы нутриентного профилирования как основа сопоставимой нутриентной оценки, инструменты ранжирования и оценки пищевых систем и рационов: МНП для осуществления проектирования, ранжирования и оценки пищевой продукции с повышенной нутриентной плотностью и ИПОКР для осуществления комплексной оценки качества

и эффективности рационов устойчивого здорового питания в программах питания и пищевой коррекции целевых групп;

- гармонизированная система РВ-анализа как метод оценки альтернативных источников белка; результаты РВ-анализа бобового сырья и продуктов его переработки с позиций существующих рисков и преимуществ для здоровья человека и устойчивости продовольственных систем;

- методология проектирования белковосодержащих пищевых систем на основе унифицированной системы оценки качества и ФТС бобовых белковосодержащих ингредиентов/полуфабрикатов;

- совокупность результатов экспериментальных данных, подтверждающих эффективность осуществленного механоферментативного гидролиза бобового сырья и отражающих динамику распределений молекулярных масс и содержания антинутриентов в ходе МФГ, а также взаимосвязи между показателями ФТС и степенью ферментативного воздействия;

- система принятия решений при проектировании рецептур с учетом нутриентного профиля, ФТС и ограничивающих факторов; результаты экспериментальных исследований, подтверждающих эффективность применения ППБС в технологии кулинарной продукции с учетом механизмов встраивания сырьевого ингредиента в систему продукта, влияния на нутриентную плотность рациона; результаты апробации МНП при разработке ассортимента эмульсионных/пастообразных/фаршевых систем и продукции на их основе использования изолята горохового белка и гидролизатов бобового сырья; сравнительные результаты ранжирования разработанных образцов относительно контрольных по нутриентной плотности при сохранении органолептики и приемлемой себестоимости;

- результаты исследования применения СВЧ-обработки как стадии технологического процесса введения ППБС в пищевые матрицы в целях снижения содержания антипитательных веществ и улучшения органолептических свойств;

- совокупность результатов апробации разработанного модуля программного средства, реализующего расчеты МНП и ИПОКР при проектировании, оценке и ранжировании пищевых систем и рационов, подтверждающих целесообразность использования разработанных инструментов в целях повышения качества и эффективности программ питания и пищевой коррекции.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

*Теоретическая значимость.* Предложен методологический подход к разработке различных пищевых систем на основе ППБС с учетом возможностей их дуального использования как в качестве основного рецептурного ингредиента, так и пищевых технологических добавок, с последующей их оценкой и ранжированием на основе использования цифровых инструментов НП.

*Практическая значимость.* Создан модуль программного средства «Мониторинг питания и здоровья» (внедрен в ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора), реализующего расчеты предложенных оригинальных инструменты ранжирования и оценки: МНП и ИПОКР.

Сформированы базы данных: «Сравнительная база данных химического состава продуктов питания» (БД RU 2024621145); «Результаты гигие-

нической оценки организованного питания в общеобразовательных организациях» (БД RU 2023623681).

Разработана и утверждена техническая документация: ТУ и ТИ 10.85.19-052-03814269-2024 «Соусы кулинарные пастообразные на основе гидролизатов бобовых»; ТУ и ТИ 10.84.12-124-03814269-2025 «Майонезный соус с ИГБ (изолятом горохового белка)»; ТИ и ТУ 10.84.12-125-03814269-2025 «Соусы на основе растительных масел, обогащенные гидролизатами бобовых»; ТИ и ТУ 10.85.11-026-39898879-2024 «Полуфабрикаты мясосодержащие в тесте замороженные с добавлением ИГБ (изолята горохового белка)»; ТУ и ТИ 10.89.19-10.85.11-027-39898879-2024 «Вареники с начинками из картофеля и овощей с добавлением ИГБ (изолята горохового белка)». Полученные технические решения апробированы на предприятиях ООО «Фуд-Мастер Фабрика», ООО «Прогресс питания», что подтверждено соответствующими документами. Новизна технических решений подтверждена заявкой на патент РФ № 6364094617 «Способ производства эмульсионного соуса».

Сформированы сборники рецептов блюд и типовых меню: для организации питания обучающихся 1–4-х классов в общеобразовательных организациях (2022); для организации питания детей в образовательных организациях и организациях отдыха детей и их оздоровления (от 7 до 18 лет) (2023); для организации питания детей в дошкольных образовательных организациях (2023).

Результаты исследований используются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 19.03.04 и 19.04.04 «Технология продукции и организация общественного питания» в ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет».

**Степень достоверности и апробация работы.** Достоверность результатов подтверждается использованием современных методов исследования, осуществлением в лабораториях на сертифицированном оборудовании с установленными метрологическими характеристиками в многократной повторности, использованием соответствующих методов математической и статистической обработки полученных экспериментальных данных.

Степень достоверности подтверждена результатами экспериментальных исследований, большими объемами экспериментальных данных, обработанных методами расчета статистической достоверности измерений с использованием серии компьютерных программ: Microsoft Office Word и Excel для Windows 10, Statistica 13, Fuzzy Logic Toolbox среды MATLAB 2021.

Результаты исследования обсуждены на научных мероприятиях разного уровня, прошедших в Новосибирске (2015–2025), Москве (2015, 2019, 2023–2025), Санкт-Петербурге (2022–2024), Екатеринбурге (2024, 2025), Омске (2023, 2024), Кемерово (2017, 2022–2025), Перми (2024, 2025), Гомеле (Беларусь) (2024), Бишкеке (Киргизия) (2024), Чунцине (Китай) (2025).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 87 работ (39,2 п. л., в том числе авторских 27,4 п. л.), из них 3 монографии; 10 статей в журналах, входящих в базу данных RSCI; 9 статей в журналах, рекомендованных ВАК (K1, K2); 8 статей в изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus, и два свидетельства о регистра-

ции баз данных, а также ряд статей в материалах конференций, научных трудах институтов.

**Личный вклад автора** состоит в постановке и обосновании проблемы, разработке структуры и схемы проведения исследований, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных результатов, обобщении имеющихся материалов и подготовке их к публикации, организации внедрения результатов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, семи глав, списка литературы из 509 наименований и 10 приложений. Основное содержание работы изложено на 350 страницах, содержит 90 рисунков и 63 таблицы.

## **Основное содержание работы**

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, научная новизна, теоретическая, практическая значимость и положения, выносимые на защиту.

**Глава 1. Роль программ здорового питания в обеспечении устойчивости продовольственных систем, здоровья и благополучия населения.** Представлен аналитический обзор современных подходов к понятиям «продовольственная система» и «устойчивое здоровое питание», выделена их определяющая роль в формировании режимов питания и пищевого статуса населения; определены основные вызовы для науки при формировании рационов современного человека.

Анализ отечественного опыта показал ограниченное количество системно реализуемых программ питания, недостаточное использование их потенциала в обеспечении здоровьесбережения населения, неразвитость механизмов увязки потребностей с программами питания. Уточнен продовольственный контекст программ питания и пищевой коррекции, реализуемых в социальном питании; акцентирована роль диетических рекомендаций, основанных на продовольственных системах, для достижения Целей устойчивого развития и создания здоровьесберегающей среды.

**Глава 2. Организация эксперимента, объекты и методы исследования.** Теоретические и экспериментальные исследования осуществлены в период с 2011 по 2026 г. в соответствии с общей схемой (рисунок 1).

Исследование состава и ФТС сырья и полуфабрикатов, показателей качества и безопасности готовой продукции проводили в научно-исследовательских лабораториях кафедры технологии и организации пищевых производств и Центра технологического превосходства ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»; Едином лабораторном комплексе ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»; научно-исследовательской лаборатории физико-химии полимерных композитных материалов ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения РАН; на базе отдела гигиенических исследований с лабораторией физических факторов ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора.

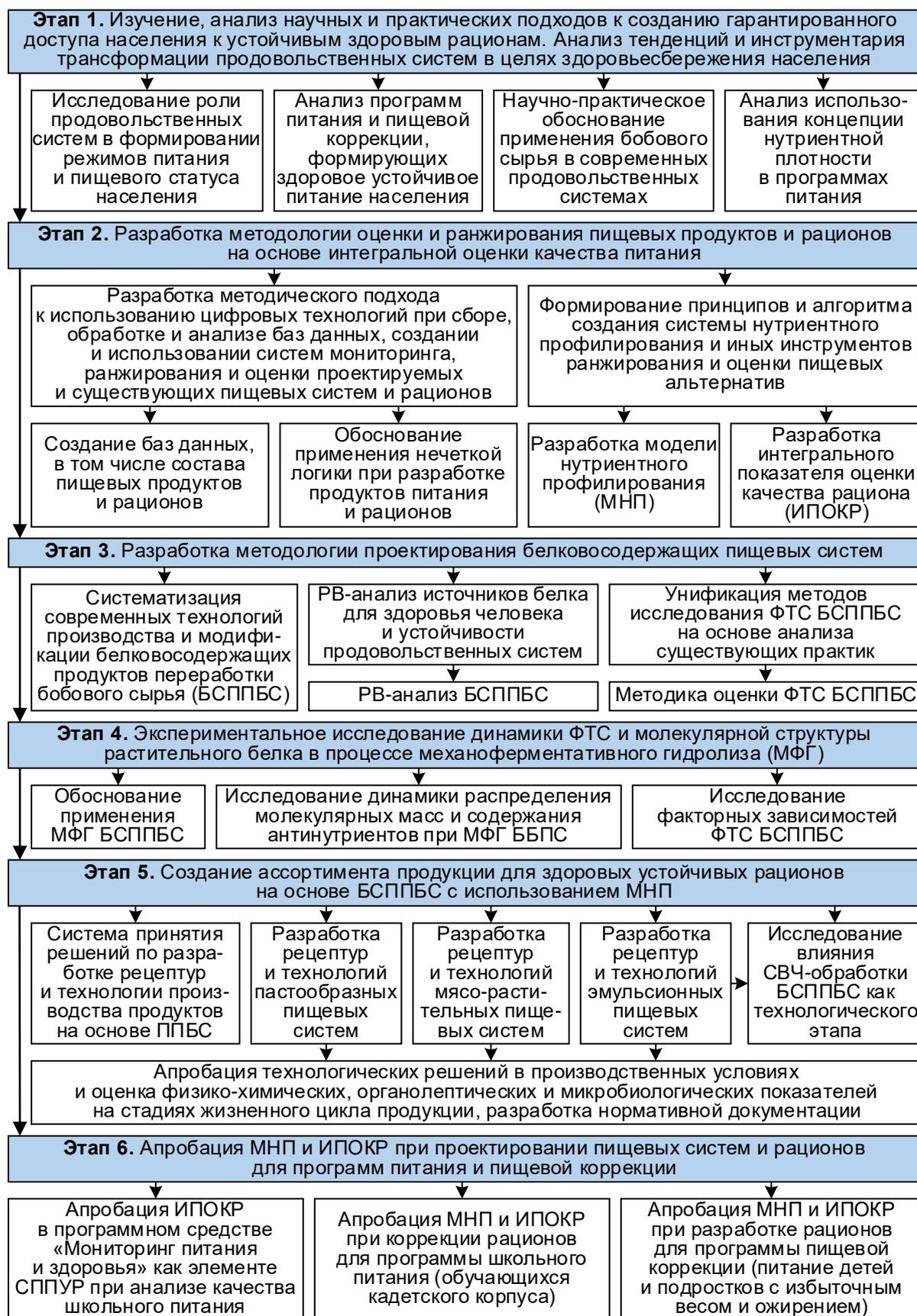


Рисунок 1 – Схема исследования

Объектами исследования на разных его этапах являлись базы данных химического состава продуктов питания и блюд (БД RU 2024621145), базы гигиенической оценки рационов организованного питания в общеобразовательных организациях (БД RU 2023623681); образцы бобовых культур: гороха желтого, гороха зеленого, чечевицы красной, чечевицы зеленой и их гидролизаты; изолят горохового белка (ИГБ) и его гидролизаты; пастообразные, эмульсионные и мясо-растительные пищевые системы, полученные на основе ИГБ и гидролизатов БСППБС (промышленные и опытные образцы).

В диссертации использованы базовые научные, а также общепринятые, стандартные и специальные методы исследований с последующей математической обработкой полученных результатов.

Апробацию программно-расчетного блока по НП, создание на его основе баз данных осуществляли на основе кросс-платформенного программного средства «Мониторинг питания и здоровья» в ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора; математическое моделирование, планирование и обработку результатов проводили с помощью экспертных систем на основе нечеткой логики, а также проектирования нечетких нейросетей в Fuzzy Logic Toolbox среды MATLAB 2021.

**Глава 3. Разработка методологии оценки и ранжирования пищевых продуктов и рационов на основе интегральной оценки качества питания.** Разработан методический подход к применению аппарата нечеткой логики и интеллектуальных цифровых технологий на этапах сбора, обработки и анализа баз данных, создания и использования систем мониторинга, ранжирования и оценки проектируемых и существующих пищевых систем и рационов здорового устойчивого питания (первая задача), визуализированный в модуле системы оценки пищевых продуктов и рационов (рисунок 2).

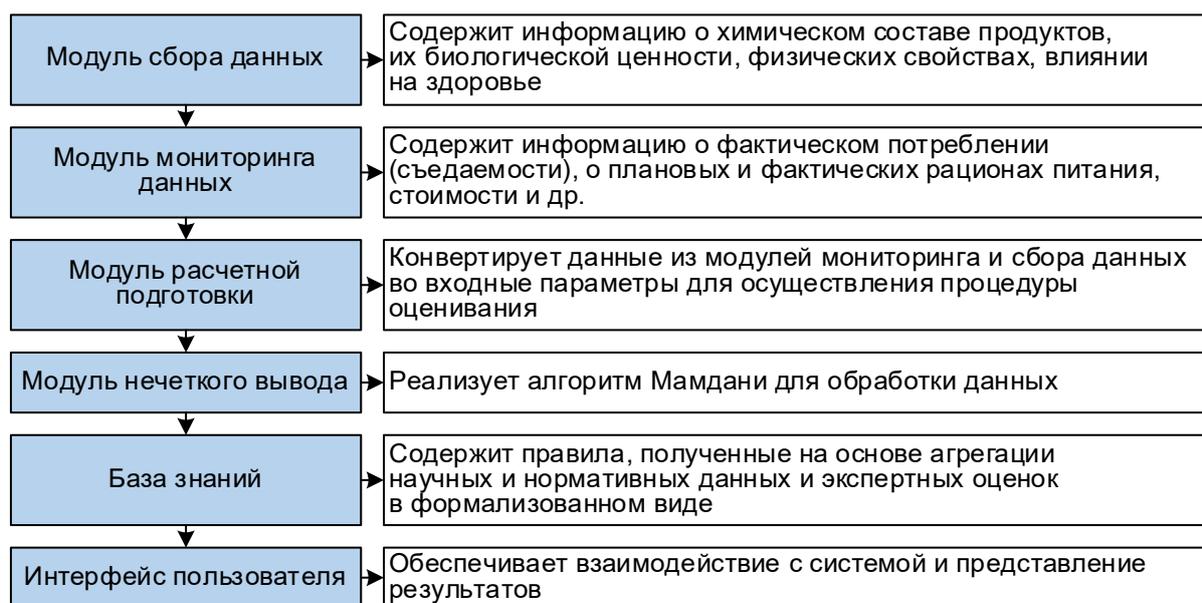


Рисунок 2 – Компоненты оценочного модуля на основе нечеткой логики

При получении интегральных показателей для оценки и ранжирования пищевых систем и рационов использование аппарата нечеткой логики позволяет объединить математические зависимости и человеческую логику, опирается на основные категории референсных значений, включенных в расчетный модуль показателей пищевой ценности (рисунок 3).

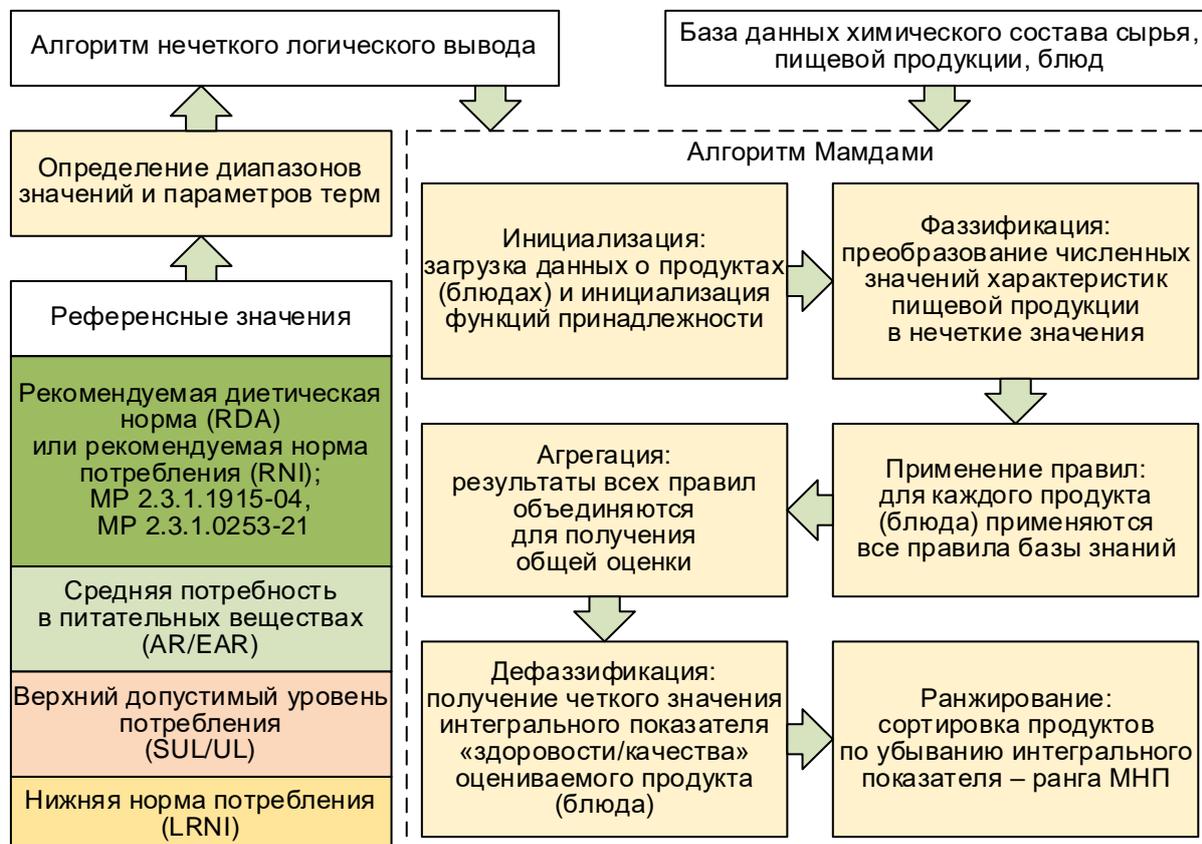


Рисунок 3 – Ранжирование пищевых продуктов на основе применения алгоритма Мамдани

В рамках третьей задачи проведен сравнительный анализ элементов разных национальных СНП, сформулированы принципы формирования СНП, предложен алгоритм разработки МНП (рисунок 4) и сама модель (рисунок 5). Анализ ограничивающих факторов модели позволил сформировать комплексную оценку пищевой продукции в рамках категорий пищевых продуктов на основе следующих единичных показателей: содержание белков с учетом их биологической ценности (БЦ), содержание жиров с учетом рациональности жирнокислотного состава (РЖКС), содержание витаминов ( $B_1$ ,  $B_2$ , D) и микроэлементов (Ca, F, P, Se, I), доля в составе рекомендованных групп продуктов (бобовые, овощи, фрукты, орехи, семена – БОФОС), содержание добавленной соли и сахара.

Выбор показателей осуществлен на основе базы данных оценки рационов питания, что позволило выделить наиболее значимые из них с позиций дефицита/избыточности в рационе и потенциальных рисков развития инфекционных заболеваний.

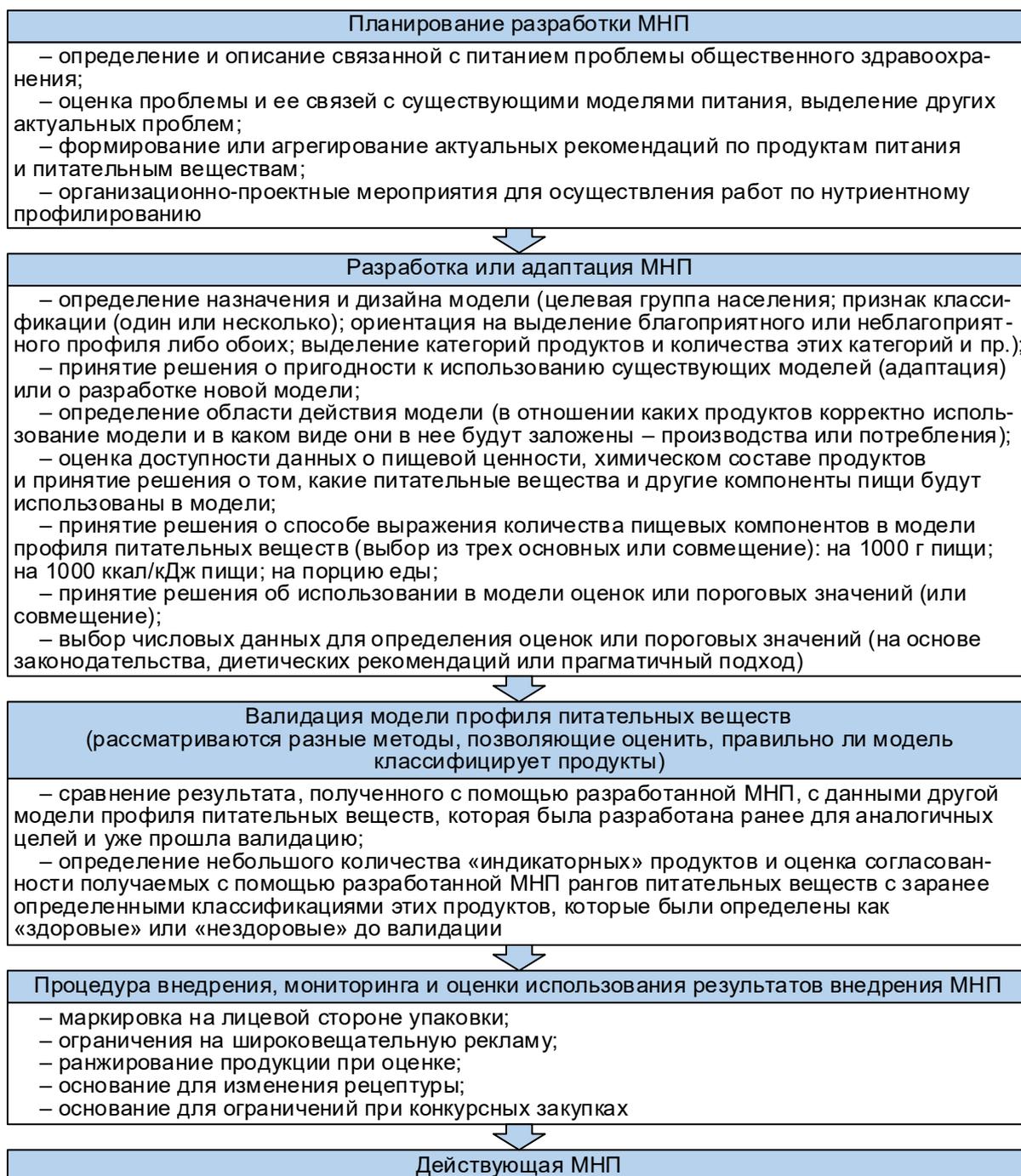


Рисунок 4 – Алгоритм разработки МНП

Сформированная МНП опирается на концепцию нутриентной плотности, что обуславливает использование в ней значений показателей в трех видах единиц измерения (натуральных – г, мг, мкг; относительных – г/1000 ккал, г/100 г, % суточной потребности).

Разработан интегральный показатель оценки качества рациона (ИПОКР) (предусмотрена базовая и расширенная версии). Проектирование расчетного модуля ИПОКР реализовано с использованием аппарата нечеткой логики.

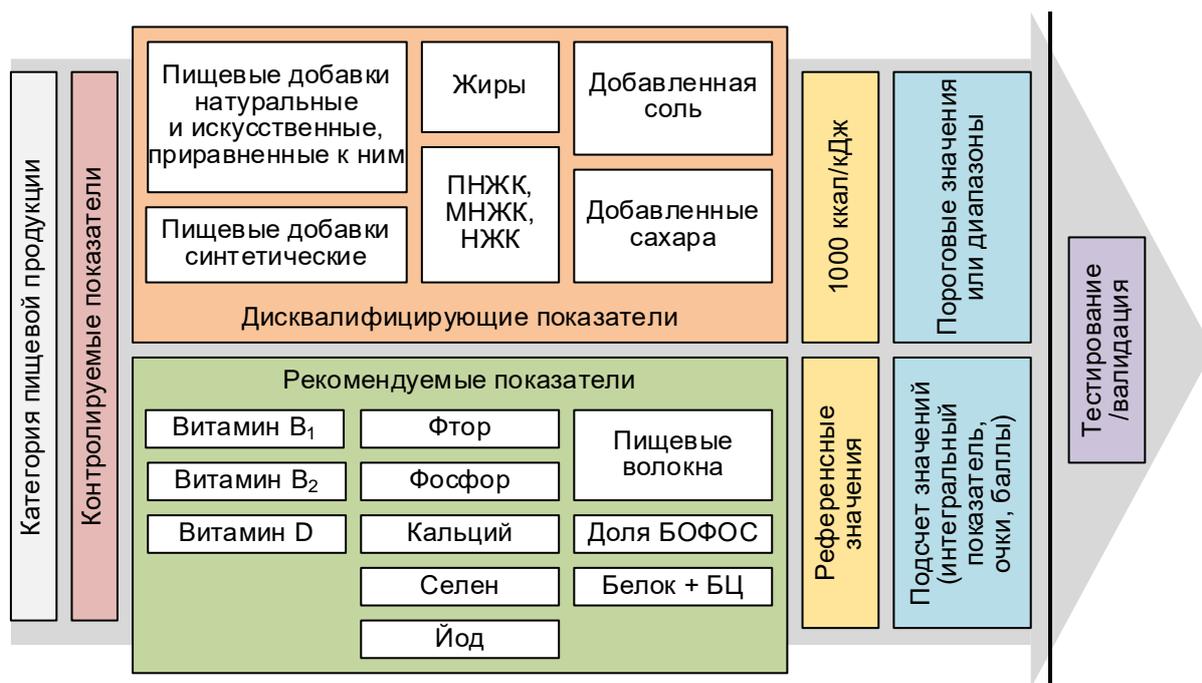


Рисунок 5 – Разработанная модель нутриентного профилирования

В качестве основных компонентов для формирования базовой версии ИПОКР определены промежуточные показатели:

- результирующие показатели – агрегируются на основе нечеткой логики и определяют адекватность восполнения потребностей организма в сравнении с референсными значениями, в том числе с использованием индексов качества соответствующих нутриентов (ИВПМВ, ИВПВ, ИКБ, ИКЖ, ИКУ, ИСБ);

- группа показателей, характеризующих соответствие рациона критериям здорового питания (БОФОС, ИС, ИСА, ИРЖКС);

- группа индикативных показателей, в число которых включены традиционные критерии качества питания (ИРП, ИП);

- оценочные шкалы частных показателей, регламентирующие диапазоны значений, позволяющих характеризовать частный показатель как «очень высокое качество рациона», «высокое качество рациона», «допустимое качество рациона» и «недопустимое/низкое качество рациона»;

- весовые коэффициенты для частных показателей ( $K_1$ – $K_{12}$ ), позволяющие корректировать значения отдельных индексов исходя из особенностей целевого контингента, природно-климатических факторов, параметров окружающей среды или производственных рисков.

В результате с помощью метода аддитивной свертки определена формула расчета ИПОКР (упрощенная версия, учитывающая только воздействие на здоровье):

$$\begin{aligned} \text{ИПОКР} = & K_1 \times \text{ИВПМВ} + K_2 \times \text{ИВПВ} + K_3 \times \text{ИКЖ} + K_4 \times \text{ИКБ} + \\ & + K_5 \times \text{ИКУ} + K_6 \times \text{ИСБ} + K_7 \times \text{ИЗИ/БОФОС} + K_8 \times \text{ИП} + K_9 \times \text{ИС} + \\ & + K_{10} \times \text{ИСА} + K_{11} \times \text{ИТЖ/ИНЖ} + K_{12} \times \text{ИР}, \end{aligned} \quad (1)$$

где ИВПМВ – индекс восполнения потребности в минеральных веществах; ИВПВ – индекс восполнения потребности в витаминах; ИКЖ – индекс качества жиров; ИКБ – индекс качества белков; ИКУ – индекс качества углеводов; ИСБ – индекс сбалансированности макронутриентов; ИЗИ/БОФОС – индекс содержания здоровых сырьевых ингредиентов; ИП – индекс потребления; ИС – индекс содержания соли; ИСА – индекс содержания добавленных сахаров; РЖКС (или ИТЖ/ИНЖ) – рациональность жирнокислотного состава (индекс содержания транс-жиров/насыщенных жиров); ИР – индекс разнообразия питания;  $K_1$ – $K_{12}$  – весовые коэффициенты частных показателей.

Графическое отображение ИПОКР (рисунок 6) позволяет наглядно оценить степень отклонения каждого показателя от идеального состояния (максимальных значений частных показателей, принятых за условные 100%).



Рисунок 6 – Визуальный образ интегрального показателя оценки качества рациона

Разработан методологический подход к оценке и ранжированию проектируемых и существующих пищевых систем и рационов (рисунок 7) на основе концепции нутриентной плотности и с использованием цифровых технологий при сборе, обработке и анализе баз данных.

**Глава 4. Систематизация и унификация подходов к оценке роли растительного белка, качества и ФТС БСПШБС.** В рамках решения третьей задачи установлено, что наиболее эффективной перспективой является сдвиг в питании в сторону расширенного использования растительного белка (в частности, бобового сырья). Оценка аминокислотного состава показала, что у большинства бобовых отмечается относительно низкое (почти вдвое по сравнению с «идеальным» белком) содержание серосодержащих аминокислот (метионина и цистеина), что необходимо учитывать при использовании бобового сырья как источника белка в пищевых матрицах.



Рисунок 7 – Методологический подход к оценке и ранжированию пищевых систем и рационов

Предложен методический подход к оценке и сопоставлению разных вариантов альтернативных источников белка, основанный на разработанной гармонизированной системе РВ-анализа («риск – выгода») выбора компонентов для формирования новых пищевых систем (рисунок 8). Результаты РВ-анализа позволяют обосновать преимущества использования бобового сырья и продуктов его переработки в рационе человека (таблица 1).

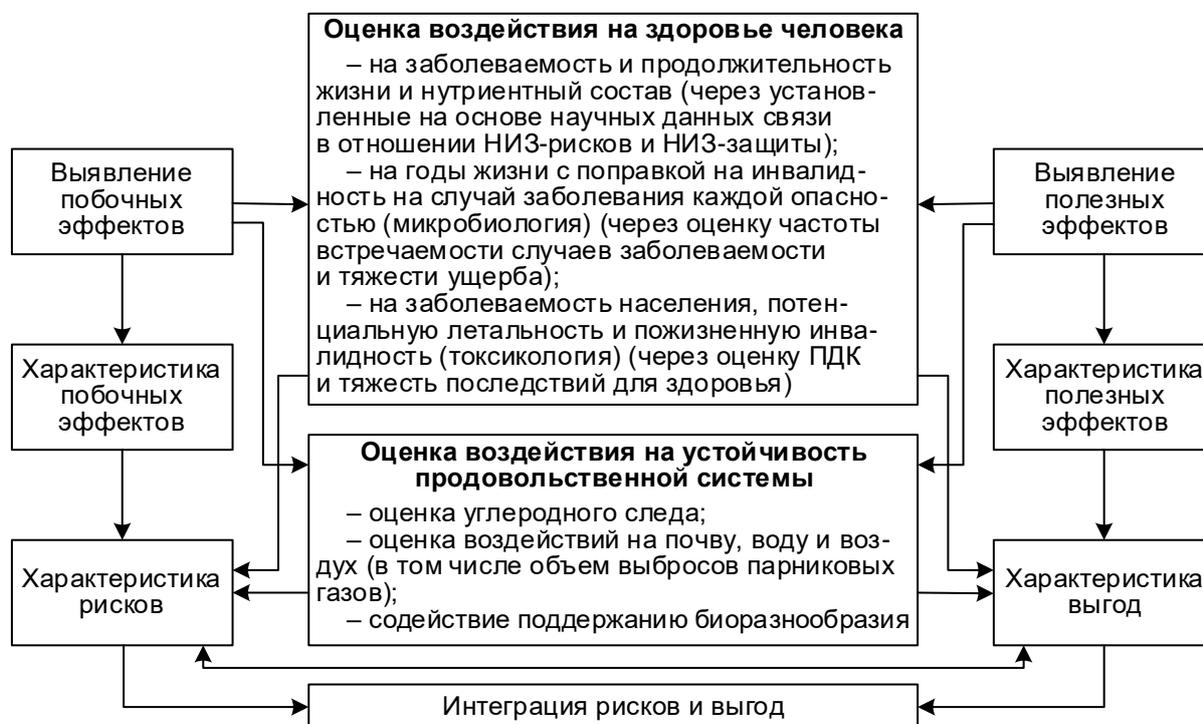


Рисунок 8 – Гармонизированная система РВ-анализа

Проведен анализ современных технологий производства и модификации БСППБС, а также оценка перспектив системного употребления бобовых и продуктов их переработки в рационе человека с учетом существующих рисков и выгод для здоровья, обусловленных особенностями нутриентного, в том числе аминокислотного, состава и содержанием антипитательных факторов (рисунок 9).

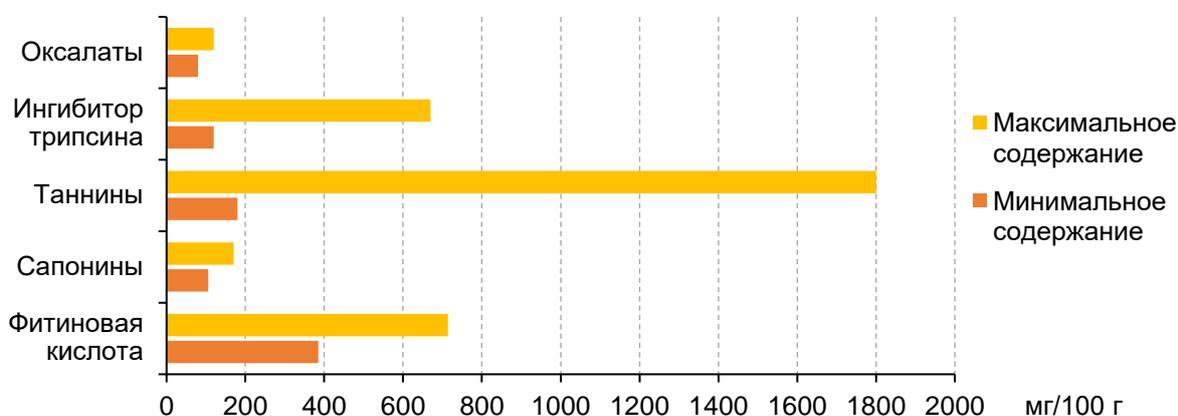


Рисунок 9 – Диапазон содержания антипитательных компонентов в бобовых (сое, чечевице, нут, горохе, фасоли)

Таблица 1 – РВ-анализ альтернативных источников белка

	Белок бобовых	Белок из биомассы насекомых	Культивируемый белок (клеточный)	Белок одноклеточных организмов	
Компоненты, влияющие на здоровье человека	Нутриентные	Минеральные вещества: Ca, Mg, P, K, Na, Cu, Fe, Zn. Витамины: A, D, E, K, C, B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>6</sub> , PP, B <sub>12</sub> . Белок: 53–95 %. Антипитательные вещества: трипсин, фитиновая кислота, сапонины, оксалаты	Минеральные вещества: K, Na, Ca, Mg, P, Fe. Витамины: B <sub>1</sub> , B <sub>2</sub> , B <sub>6</sub> , B <sub>12</sub> . Белок: 48–60 %. Антипитательные вещества: хитин	Минеральные вещества: K, Na, Ca, Mg, P, Fe Витамины: B <sub>1</sub> , PP. Белок: 17–20 %. Антипитательные вещества: холестерин	Витамины: B <sub>1</sub> , B <sub>12</sub> . Белок: 72–83 %. Антипитательные вещества: нуклеиновые кислоты
	Микро-биологические	Бактерии: <i>S. aureus</i> , <i>B. cereus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> . Дрожжи, плесени. Вирусы: бромовирус	Бактерии: <i>B. cereus</i> , <i>Campylobacter</i> spp., <i>C. botulinum</i> , <i>Cronobacter sakazakii</i> , EHEC, <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella</i> , <i>S. aureus</i> , <i>Vibrio</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> . Вирусы: HVA, ротавирус. Метаболиты: гистамин	Бактерии: <i>Escherichia (E. coli)</i> , <i>Citrobacter (C. freundii)</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Proteus</i> , <i>Salmonella</i> , <i>E. cloacae</i> , <i>E. aerogenes</i> , <i>E. liquifaciens</i> , <i>P. vulgaris</i> , <i>P. mirabilis</i>	
	Токсикологические	СОЗ: общие полихлорбифенилы (ПХБ). Тяжелые металлы: Pb, Cd, As, Hg. Пестициды	СОЗ: общие ПХБ, фосфорные антипирены, оксихлордан, полибромированный дифенил, эфиры. Тяжелые металлы: Pb, Cd, As, Hg, Al, Ni, Cr. Пестициды	Основные риски: мутагенность зародышевых клеток, канцерогенность, репродуктивная токсикология	
Компоненты, влияющие на устойчивость продовольственной системы	Выбросы – 0,03 CO <sub>2</sub> экв/кг продукта. Обогащают почву азотом, способствуют циркуляции почвенных питательных веществ и удержанию воды	Насекомые могут питаться органическими отходами; требуется меньше земли и воды; по сравнению с говядиной выброс парниковых газов меньше в 10–100 раз, воды – в 10 000 раз	По сравнению с говядиной меньше выбросы парниковых газов – на 92 %, загрязнения – на 93 %; требуется меньше земли – до 95 %, воды – на 78 %	Могут образовываться вещества с острой или хронической водной токсичностью	

Установлено, что при получении концентрированной белковой фракции наибольшее распространение получили традиционные (сухое фракционирование/воздушная классификация, щелочная экстракция/изоэлектрическое осаждение, солевая экстракция/мицеллизация) и инновационные методы (сверхкритическая экстракция  $\text{CO}_2$  ( $\text{SC-CO}_2$ ), субкритическая водная, ферментативно-ассистированная и микроволновая экстракция). В то же время способ экстрагирования непосредственно влияет на термические, конформационные и функционально-технологические свойства белковых фракций, пищевую ценность и содержание как биологически активных соединений, так и антипитательных веществ (рисунок 10).



Рисунок 10 – Технологии снижения содержания антинутриентов

Для расширения возможностей использования ППБС в пищевых матрицах предложены следующие методы модификации их свойств (рисунок 11).

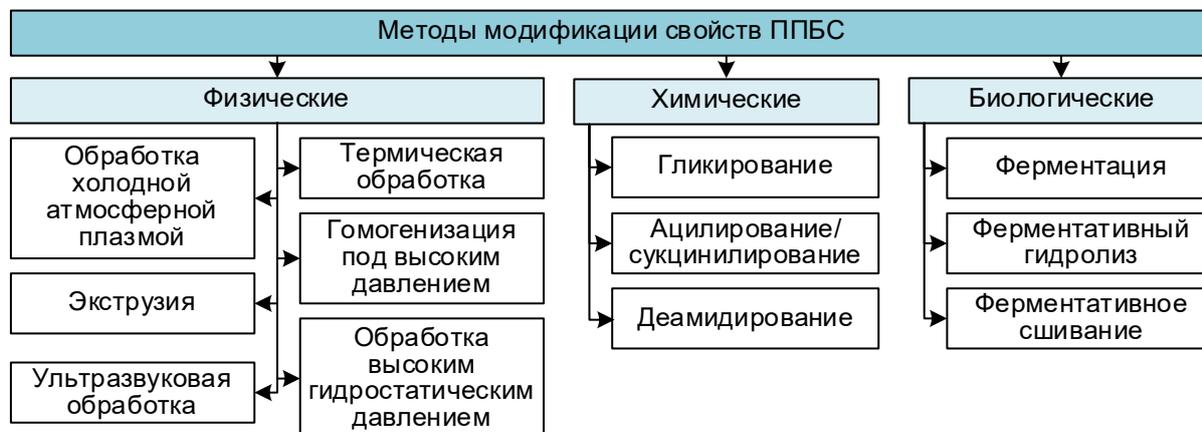


Рисунок 11 – Методы модификации свойств ППБС

Показано, что наиболее важным для масштабного использования потенциала ППБС является применение методов биоконверсии, направленных на повышение их биоусвояемости и снижение содержания антипитательных нутриентов. Одним из таких методов выступает механоферментативный гидролиз.

В рамках решения четвертой задачи разработана и верифицирована унифицированная система оценки качества и ФТС ППБС, получаемых в ходе переработки и биоконверсии/биодеструкции; на ее основе предложена методология проектирования белковосодержащих пищевых систем (рисунок 12).

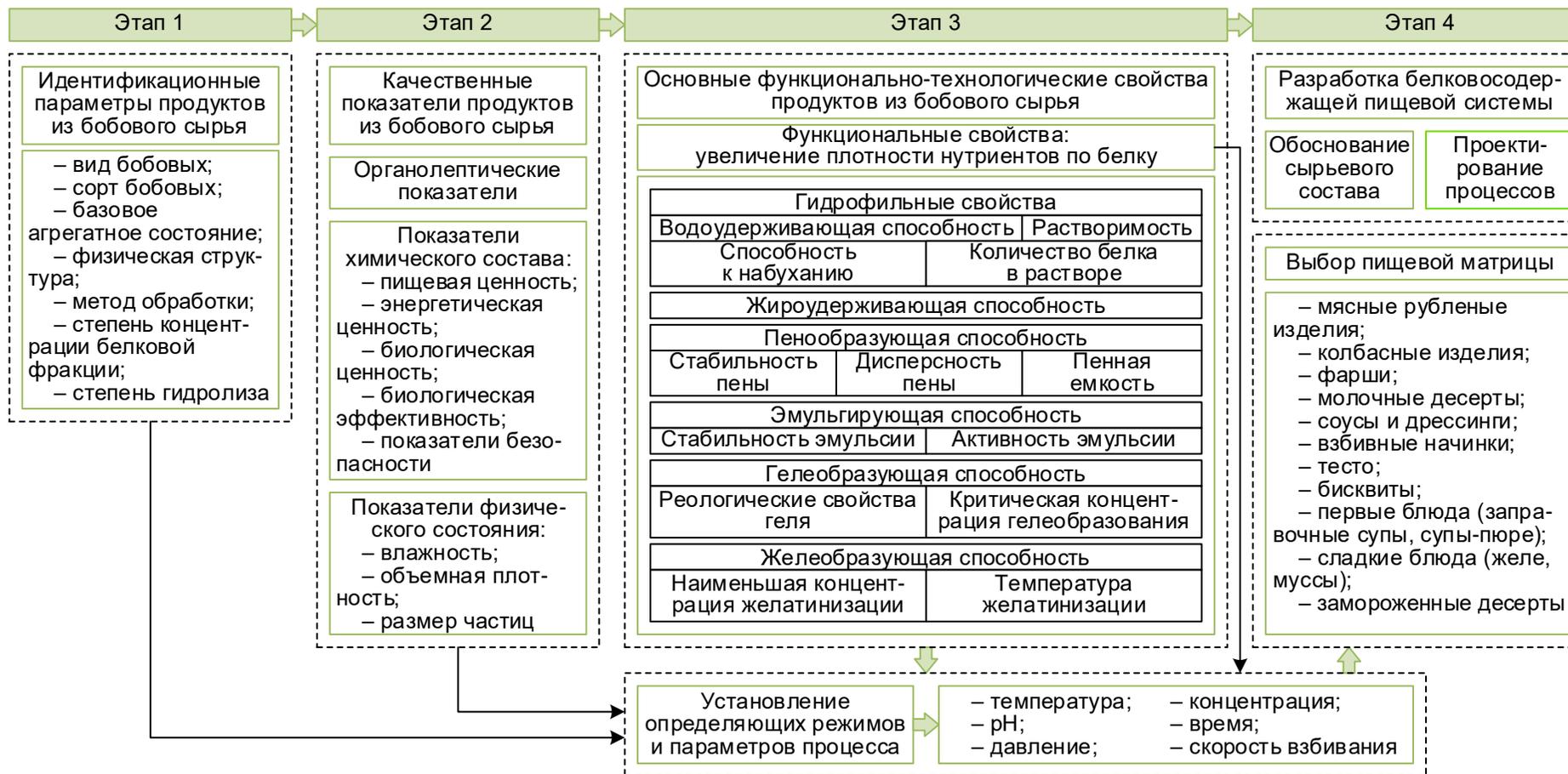


Рисунок 12 – Методология проектирования белкосо-держущих пищевых систем

Предлагаемая методология позволяет усовершенствовать систему объективного контроля и способствует более аргументированному выбору перспективных для введения в пищевые матрицы ингредиентов с учетом возможностей их дуального использования в качестве как основного рецептурного ингредиента, так и пищевых технологических добавок.

**Глава 5. Исследование динамики ФТС и молекулярной структуры растительного белка в процессе МФГ.** Обосновано применение МФГ для модификации БСПБС и изменения качественных характеристик и ФТС получаемых гидролизатов (пятая задача) (рисунок 13).

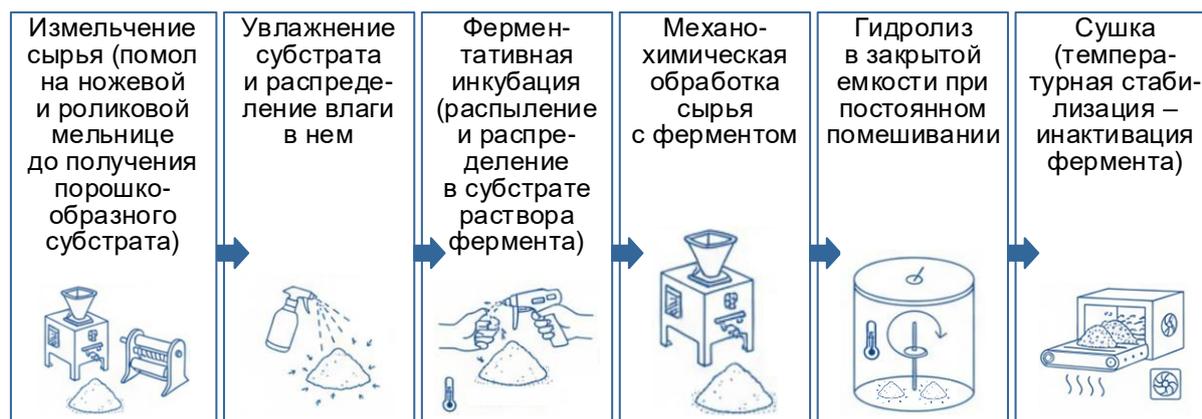


Рисунок 13 – Общая схема процесса МФГ

Изучены качественные характеристики ППБС, исследованы их пищевая (таблица 2) и биологическая ценность (таблица 3), содержание антинутриентов – фитиновой кислоты и ингибитора трипсина, показатели безопасности, изменение ФТС и распределение фракций молекулярных масс в структуре белка в зависимости от степени ферментативного воздействия; обоснована зависимость между показателями ФТС и молекулярной структурой гидролизатов ППБС.

Таблица 2 – Пищевая ценность и химический состав исследуемых образцов

Показатель	Вид исследуемого бобового сырья и продуктов его переработки				
	ИГБ	ГЖ	ГЗ	ЧК	ЧЗ
Белки, г	80,0±5,17	27,8±2,43	24,3±2,16	28,4±1,98	24,81±1,73
Жиры, г	3,1±0,61	1,2±0,13	1,8±0,17	1,1±0,08	1,3±0,12
Энергетическая ценность, ккал	350±23	310±21	305±17	302±12	297±18
Зола, % на с. в.	5,0±0,24	3,3±0,17	4,9±0,23	3,3±0,16	3,4±0,17
Крахмал, % на с. в.	0	43,2±2,16	47,3±2,41	43,4±2,19	46,5±2,32
Клетчатка, % на с. в.	5,0±0,23	4,5±0,22	3,8±0,18	3,6±0,17	3,7±0,19
ТИА, мг/г	7,6±0,38	9,6±0,47	11,4±0,52	7,2±0,36	7,6±0,37
Фитиновая кислота, мг/г	0,9±0,05	6,8±0,32	5,2±0,25	6,8±0,33	9,2±0,46

Схема МФГ для получения образцов в разных блоках эксперимента приведена на рисунке 14.

Таблица 3 – Биологическая ценность образцов бобового сырья

Образец	Лимитирующая аминокислота	Расчетный показатель биологической ценности						
		КРАС	БЦ	$U$	КОАС	$R_c$	$\sigma_c$	ИНАК
ИГБ	Метионин + цистеин	0,71	29,05	0,49	4,80	1,21	34,06	1,30
ГЖ	Триптофан	0,27	72,53	0,54	3,80	0,54	28,53	0,55
ГЗ	Триптофан	0,24	76,26	0,57	4,27	0,51	25,37	0,50
ЧК	Метионин + цистеин	0,19	80,57	0,46	5,80	0,28	36,58	0,34
ЧЗ	Триптофан	0,30	70,39	0,52	3,61	0,54	30,45	0,57

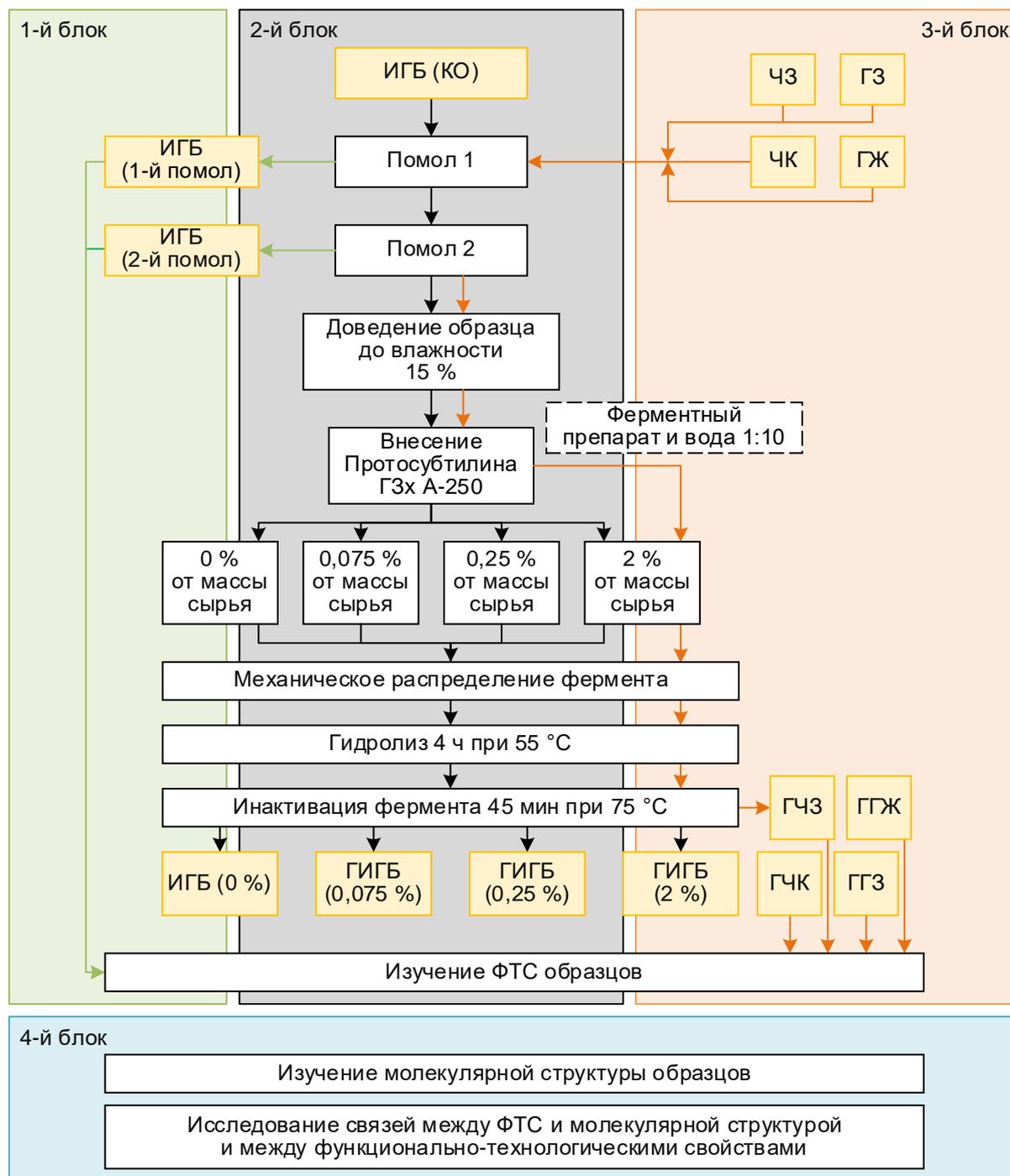


Рисунок 14 – Схема МФГ и варианты гидролизатов для дальнейшего изучения

Доля вносимого фермента на разных стадиях эксперимента составляла от 0,075 % до 2 % к массе продукта, подвергаемого гидролизу. Установлено, что дополнительное введение фермента не оказывает влияния на скорость ферментативной реакции, так как при концентрации около 2 мас. % происходит полное заполнение поверхности субстрата ферментом. Для инактивации фермента смесь нагревали до 75 °С в течение 45 мин.

В первом блоке эксперимента объектом исследования выступал изолят горохового белка (ИГБ) как продукт, максимально освобожденный (по сравнению с исходным сырьем) от крахмальной и жировой фракций. Для изучения воздействия физических факторов – механического измельчения – горох дважды пропускали центробежно-роликовую мельницу для получения итоговых образцов сверхтонкого помола с размером частиц 20 и 25 мкм. Это позволило изучить влияние физического фактора на ФТС в зависимости от степени измельчения ИГБ (таблица 4).

Таблица 4 – Показатели ФТС для разной степени помола ИГБ

Показатель	ИГБ (КО)	ИГБ (I помол)	ИГБ (II помол)
Размер частиц, мкм	52,2	25,8	20,1
Влажность, %	5,32 ± 0,21	5,63 ± 0,21	5,67 ± 0,03
Растворимость в холодной воде, %	56,0 ± 1,2	78,23 ± 0,24	78,68 ± 0,69
Растворимость в горячей воде, %	59,3 ± 1,10	56,7 ± 1,11	59,48 ± 1,08
ЖУС, %	1,86 ± 0,09	1,54 ± 0,12	1,60 ± 0,39
ВУС, %	2,14 ± 0,20	2,65 ± 0,15	2,68 ± 0,21
Количество растворенного образца, г (1 г образца в 10 мл воды)	0,3 ± 0,03	0,16 ± 0,01	0,17 ± 0,01
Пенообразующая способность, %	28,91 ± 5,10	44,57 ± 1,77	48,89 ± 2,10
Пеноустойчивость, %	76,07 ± 4,50	64,44 ± 6,10	68,36 ± 9,03
Доля термически стабильной пены, %	22 ± 3,22	29 ± 4,17	33 ± 5,12
Эмульсионная активность, %	66,05 ± 2,58	54,22 ± 1,92	49,05 ± 0,60
Эмульсионная стабильность, %	67,37 ± 3,09	51,59 ± 1,44	41,12 ± 1,17
Доля термически стабильной эмульсии, %	100 ± 2,75	95 ± 1,70	84 ± 2,11

Установлено, что механическое измельчение в диапазоне 20–50 мкм не влияет на изменение таких свойств, как растворимость в горячей воде, ВУС и эмульгирование. Значение ЖУС снижается на 17 %, что коррелирует с показателями эмульсионной активности, стабильности эмульсии, эмульсионной термоустойчивости.

Увеличение пенообразования, растворимости в холодной воде и значения ВУС обусловлено в первую очередь снижением размера частиц смеси. ВУС образцов с разной степенью помола характеризует их набухаемость (по мере уменьшения размера частиц ее значение растет). Анализ количества растворенного образца позволил сделать вывод, что с увеличением размера частиц активнее происходит набухание, поскольку воду удерживает только нерастворенная часть, что мешает образцу растворяться. Снижение размера

частиц вдвое позволяет обеспечивать растворимость образца на уровне 78 %, что выше значений этого показателя базового образца на 40 %.

Во втором блоке эксперимента объектом изучения выступал также ИГБ, который подвергался различной степени ферментативного воздействия с дальнейшей оценкой влияния ферментативной обработки на ФТС. Степень ферментативного воздействия контролировалась за счет изменения общего объема сухой массы вносимого фермента (от 0,075 % до 2 %). Контрольный образец, с которым сравнивали образцы, – необработанный ИГБ; следующий образец ИГБ (0 % фермента) представлял собой результат прохождения технологической обработки по схеме эксперимента, но без внесения фермента в смесь, для оценки степени комплексного технологического воздействия на ФТС, включая механическое измельчение и длительный нагрев. Далее были получены конечные продукты с различной степенью ферментативного воздействия на исходный белок изолята горохового белка (ГИГБ 0,075 %, ГИГБ 0,25 % и ГИГБ 2 %), результаты определения ФТС которых приведены в таблице 5.

Таблица 5 – ФТС образцов ИГБ с различной степенью ферментативного воздействия на белки

Показатель	ИГБ (КО)	ИГБ (0%)	ГИГБ (0,075 %)	ГИГБ (0,25 %)	ГИГБ (2 %)
Размер частиц, мкм	52,2	19,7	22,1	20,9	24,1
Влажность, %	5,32±0,21	1,87±0,12	1,82±0,12	1,81±0,06	1,73±0,18
Растворимость в холодной воде, %	56,00±1,2	80,95±0,81	76,40±4,50	71,43±2,70	62,47±1,65
Растворимость в горячей воде, %	59,30±1,10	77,96±0,30	76,30±4,20	68,67±2,58	52,99±2,91
ЖУС, %	1,86±0,09	1,10±0,12	1,37±0,09	1,31±0,06	1,03±0,09
ВУС, %	2,14±0,20	2,88±0,12	3,13±0,36	2,07±0,15	1,75±0,06
Количество растворенного образца, г (1 г образца в 10 мл воды)	0,30±0,03	0,13±0,03	0,15±0,02	0,24±0,06	0,32±0,03
Пенообразующая способность, %	28,91±5,10	41,56±2,31	60,46±3,90	52,07±3,30	43,94±1,80
Пеноустойчивость, %	76,07±4,50	60,57±6,90	58,50±3,00	53,40±2,58	76,48±9,00
Доля термически стабильной пены, %	22	25	35	28	34
Эмульсионная активность, %	66,05±2,58	62,51±5,61	52,63±1,89	58,24±0,72	35,88±2,04
Эмульсионная стабильность, %	67,37±3,09	65,88±5,76	49,49±2,70	32,95±0,66	29,96±0,99
Доля термически стабильной эмульсии, %	100	100	94	57	84

Показано, что изменение влажности образцов происходит за счет температурного воздействия в ходе МФГ. Это объясняет увеличение растворимости гидролизованных образцов по сравнению с базовым. У гидролизатов с большей степенью гидролиза выявлена обратная зависимость с гидрофильными свойствами. Увеличение растворимости образца ГИГБ 0,075 % (с низкой степенью гидролиза) обусловлено разворачиванием пептидной цепи при ее деструкции и изменением гидрофильных свойств белков с появлением большего количества растворимых соединений, чем при более глубокой степени гидролиза. Анализ ЖУС показал отрицательное влияние МФГ: даже при тонком измельчении значение показателя снижалось не более чем на 14%. Значение ВУС увеличивалось в 1,5 раза по сравнению с КО при низкой степени гидролиза белка, затем по мере повышения доли низкомолекулярной фракции снова снижалось (1,75).

Установлено, что изменение ФТС обусловлено только изменением молекулярной массы как результата гидролиза. По группе ФТС, характеризующих пенообразование и пеноустойчивость, самые высокие значения характерны для продуктов в начальной стадии гидролиза; по мере увеличения количества вносимого фермента значения снижаются почти вдвое. Эмульсионная активность образцов снижается с ростом низкомолекулярной фракции; по объему оставшейся термостабильной пены также наблюдается снижение.

Следующий блок исследования был связан с ферментативной обработкой исходных образцов, полученных в результате помола при внесении протеазы в концентрации 2% по стандартной 4-часовой схеме с последующей ее инактивацией в течение 45 мин при 75 °С. В данном случае исследовалась не изолированная белковая фракция, а продукты с полной сохранностью всех пищевых макронутриентов. Поскольку образцы обрабатывались протеазой, то ферментативному гидролизу подверглась только белковая часть. Сопоставление показателей ФТС проведено для образцов чечевицы красной (ЧК) и зеленой (ЧЗ), гороха желтого (ГЖ) и зеленого (ГЗ) до и после гидролиза соответственно: ГЧК (гидролизат ЧК), ГЧЗ, ГГЖ, ГГЗ (таблица 6).

Установлено, что для всех видов сырья растворимость в холодной воде фактически не менялась, но в 2–3 раза снижалась растворимость в горячей воде, поскольку происходит процесс, препятствующий нормальному растворению, в том числе набухание крахмала. ЖУС практически не менялась, но наблюдалось снижение ВУС на 3–48%. Установлено существенное влияние наличия углеводной фракции на значение ВУС, поскольку ИГБ в зависимости от условий показывал значения от 1,75 до 3,13, а разброс значений для муки из разных видов бобовых составил от 0,93 до 1,57.

Показатели пенообразующей способности для всех видов ППБС практически неизменны, при этом показатель термической пеноустойчивости снижался в 2 раза у всех образцов, кроме ГЧЗ, что говорит о способности гидролизатов сохранять способность к образованию термически стабильной пены.

Эмульсионная активность практически не менялась у всех образцов, кроме ГЧК (–35%); эмульсионная стабильность росла (до +49%) у ГЧЗ, а значит, если эмульсия на гидролизате ППБС сформировалась, то она фактически в полном объеме является термостабильной.

Таблица 6 – ФТС базовых и гидролизованных образцов ППБС

Показатель	ЧЗ	ГЧЗ	ЧК	ГЧК	ГЖ	ГГЖ	ГЗ	ГГЗ
Размер частиц, мкм	21,7	18,8	23,3	19,4	22,8	23,1	23,3	26,6
Влажность, %	5,93±0,03	2,51±0,12	5,98±0,15	2,71±0,09	6,09±0,09	3,77±0,12	6,04±0,03	3,43±0,03
Растворимость в холодной воде, %	66,03±0,06	66,08±0,06	64,26±0,03	64,79±0,03	59,85±0,03	51,12±0,03	66,18±0,03	66,24±0,03
Растворимость в горячей воде, %	70,53±0,03	17,77±0,24	68,22±0,03	23,93±0,03	55,75±0,03	23,75±0,03	58,04±0,03	22,56±0,03
ЖУС, %	1,15±0,63	0,87±0,45	1,22±0,39	1,27±0,12	1,34±0,21	1,29±0,18	1,23±0,15	1,2±0,03
ВУС, %	1,31±0,18	1,27±0,21	1,43±0,06	1,17±0,24	1,57±0,18	1,14±0,06	1,77±0,18	0,93±0,21
Количество растворенного образца, г (1 г образца в 10 мл воды)	0,34±0,01	0,36±0,01	0,24±0,03	0,27±0,03	0,27±0,03	0,26±0,03	0,23±0,03	0,23±0,03
Пенообразующая способность, %	50,43±0,54	54,05±4,59	49,43±4,17	49,71±4,38	44,85±4,14	45,50±4,56	46,58±2,55	41,84±4,01
Пеноустойчивость, %	52,06±2,01	56,52±2,55	66,86±2,10	46,32±5,82	80,51±10,47	54,68±6,75	64,38±5,37	36,14±4,77
Доля термически стабильной пены (после термообработки от начального объема), %	26	31	33	23	36	25	30	15
Эмульсионная активность, %	47,05±1,38	45,08±2,82	56,79±2,61	36,63±0,39	42,2±2,01	41,08±1,83	46,09±2,52	43,7±3,15
Эмульсионная стабильность, %	34,97±2,04	52,40±2,31	42,35±2,10	41,18±0,87	35,24±1,17	41,58±3,06	39,06±1,59	50,78±3,84
Доля термически стабильной эмульсии, %	74,33	100	74,57	100	83,51	100	84,75	100

В четвертом блоке эксперимента для определения молекулярной массы белков и пептидов исходного сырья и прошедшего стадию ферментативного гидролиза использовали метод гель-электрофореза в 12% полиакриламидном геле в присутствии детергента додецилсульфата натрия (SDS) по методу Лэммли (рисунки 15, 16).

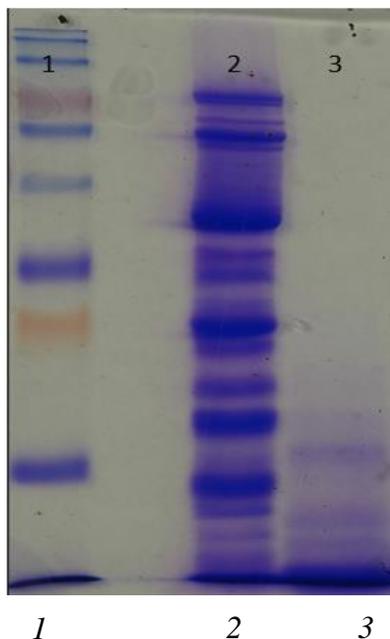


Рисунок 15 – Гель-хроматограмма:  
1 – стандарт белка Protein SDS-Page Gel;  
2 – ЧК с диаметром частиц  
не менее 1 мм; 3 – ГЧК

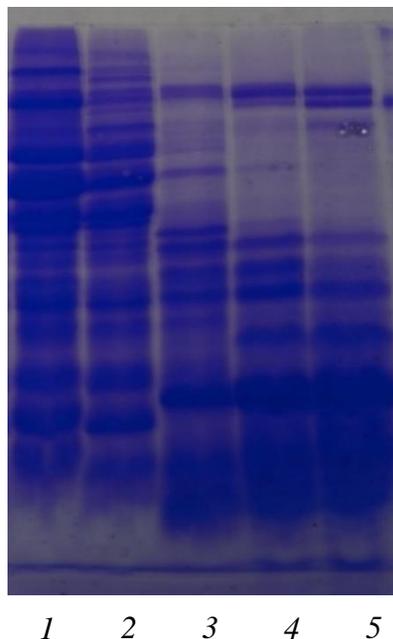


Рисунок 16 – Гель-хроматограмма  
образцов ИГБ: 1 – ИГБ (база);  
2 – ИГБ (0%); 3 – ГИГБ (0,075%);  
4 – ГИГБ (0,25%); 5 – ГИГБ (2%)

Показано, что электрофоретическая подвижность пептидов зависит от их молекулярной массы, соответственно, по интенсивности окраски можно оценить их количество, что позволяет определить как средневзвешенную молекулярную массу (СВММ) образцов, так и распределение белков по фракциям (таблица 7).

Таблица 7 – Распределение молекулярных масс и содержания антипитательных веществ при гидролизе ППБС

Образец	Доля фракции, %		СВММ, кДа	ТИА, мг/г	Фитиновая кислота, мг/г
	более 20 кДа	менее 20 кДа			
ЧЗ	55,8±0,3	44,2±0,2	26,3±0,6	4,42±0,03	2,82±0,14
ГЧЗ	0	100	3,9±0,1	1,70±0,02	0,57±0,02
ЧК	51,7±0,4	48,3±0,2	25,2±0,6	3,14±0,04	2,66±0,28
ГЧК	0	100	4,0±0,2	1,80±0,11	1,86±0,02
ГЖ	63,6±0,2	36,4±0,5	32,1±0,9	1,92±0,01	1,64±0,02
ГГЖ	0	100	3,6±0,3	1,05±0,08	0,92±0,11
ГЗ	71,3±0,8	28,7±0,2	29,9±0,2	2,47±0,09	1,32±0,02
ГГЗ	0	100	3,7±0,2	1,05±0,06	0,85±0,01

Установлено, что общее количество белка в процессе гидролиза не снижается, но меняется его качество, он становится низкомолекулярным (не более 20 кДа). При изучении процессов гидролиза в образцах, полученных на основе ППБС, выявлено снижение СВММ в 6–9 раз, что говорит об эффективности осуществляемой биодеструкции и достижении целей по снижению содержания антинутриентов (снижение на 30–43 % содержания фитиновой кислоты в ППБС положительно влияет на биодоступность общего фосфора, кальция и других минеральных веществ) и о преимущественном присутствии в гидролизатах белков с размерами, соответствующими альбуминовой и вицелиновой фракциям. В свою очередь, снижение содержания ингибитора трипсина на 43–62 % в ППБС в результате гидролиза также способствует увеличению биодоступности содержащихся нутриентов.

Определено, что в ходе изменения концентрации вносимого фермента с 0,075 % до 2 % от массы при стандартной 4-часовой схеме гидролиза доля низкомолекулярных (менее 20 кДа) белков увеличивается с 24,5 % до 46 %. Процесс сопровождается снижением СВММ с 62,8 до 53,3 кДа, что свидетельствует о глубокой степени гидролиза белков и образовании среднемолекулярных пептидов (таблица 8).

Таблица 8 – Распределение молекулярных масс образцов ИГБ

Образец	СВММ, кДа	Доля фракции, %		
		более 70 кДа	от 20 до 70 кДа	менее 20 кДа
Этап 1				
ИГБ (I помол)	63,0±2,2	23,6±2,6	55,9±4,3	20,5±1,2
ИГБ (II помол)	62,0±3,8	24,6±1,5	57,3±2,7	19,1±1,1
ИГБ (база)	62,8±2,8	21,6±1,7	56,9±1,9	21,5±1,5
Этап 2				
ИГБ (база)	62,8±2,8	21,0±1,6	55,0±3,2	24,0±1,6
ИГБ (0 %)	62,8±2,7	21,0±1,2	55,0±2,9	24,0±1,8
ГИГБ (0,075 %)	68,2±3,1	33,0±2,1	44,0±3,1	23,0±2,9
ГИГБ (0,25 %)	49,1±2,9	14,0±2,3	49,0±2,8	37,0±2,6
ГИГБ (2 %)	53,3±3,6	13,0±3,1	41,0±3,8	46,0±2,9

Показано, что степень помола не влияет на ФТС, поскольку помол не затрагивает белок на молекулярном уровне и не дает изменения значений СВММ, что свидетельствует о недостаточности только механического измельчения для получения низкомолекулярных фракций.

Изучено влияние МФГ с разной степенью гидролиза на снижение содержания антинутриентов (на примере ИГБ) (рисунок 17). Установлено, что в ходе МФГ при внесении 2 % фермента содержание ингибиторов протеазы в ИГБ снижается на 10 %, а содержание фитиновой кислоты – на 33 %.

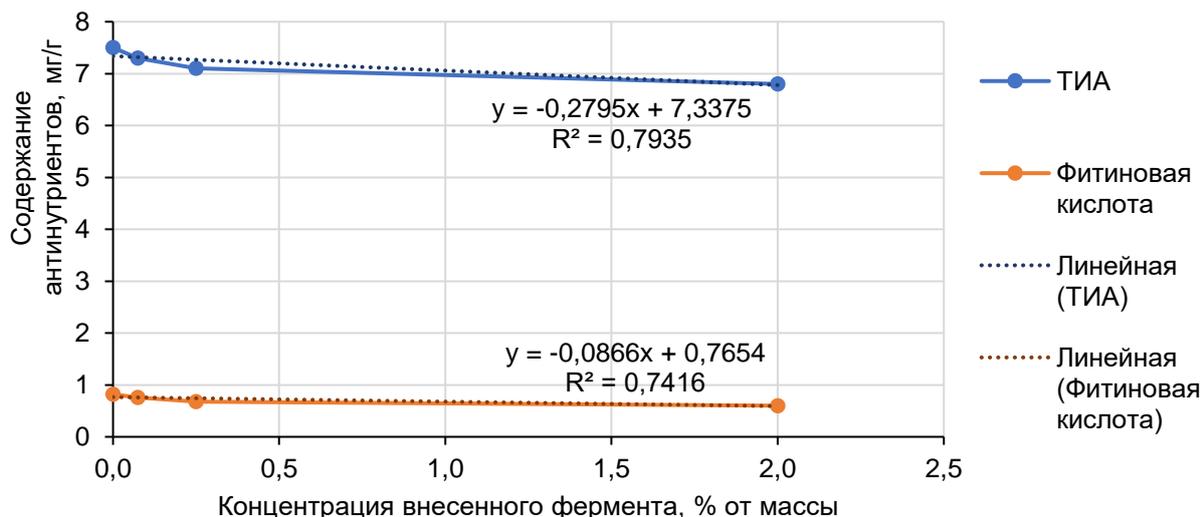


Рисунок 17 – Зависимость содержания антинутриентов и количества внесенного Протосубтилина ГЗх (А 250 ед/г) (на примере гидролизатов ИГБ)

В ходе эксперимента выявлена зависимость изменения фракций по молекулярной массе белка от степени ферментативного воздействия (рисунок 18). Установлено, что гидролиз не происходил по варианту поступательного разрушения структуры белка, что свидетельствует о хаотичном протекании процесса разрыва белковых цепочек. Этим объясняется, например, увеличение доли высокомолекулярных белков при внесении ферментов в ИГБ (0,075 %) – 33 % по сравнению с ИГБ (0 %) – 21 %.

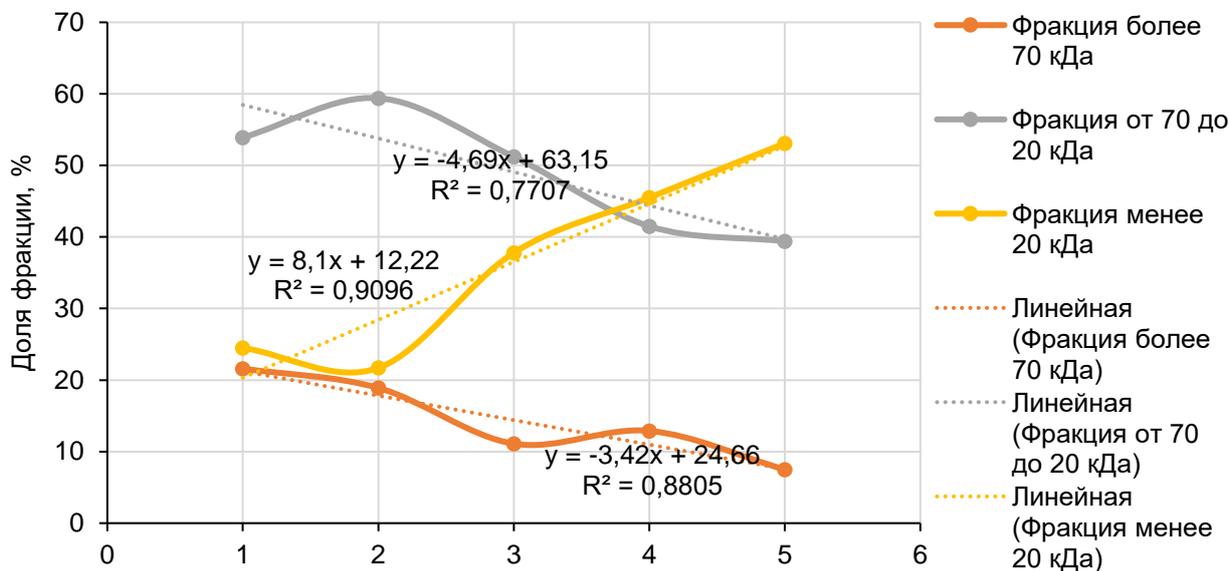


Рисунок 18 – Зависимость изменения фракций по молекулярной массе белка от степени ферментативного воздействия

С использованием инструментов биоинформатики проведено моделирование (*in silico*) процесса МФГ изолята горохового белка с целью прогнозирования высвобождения биологически активных пептидов. Исследование выполнено с использованием базы данных биоактивных пептидов ВЮРЕР-UWM и инструмента SWISS-MODEL для визуализации белковой структуры.

Смоделировано воздействие протеаз *Bacillus subtilis* на гороховый белок, в результате которого идентифицированы короткие пептидные последовательности. Для полученных пептидов (AE, AI, EE, FY, RY и др.) установлен спектр биологической активности, включая ингибирующие свойства по отношению к ангиотензинпревращающему ферменту (АПФ), дипептидилпептидазе IV (ДПП-IV), а также антиоксидантная и стимулирующая активность.

В модели *in silico* определено, что в гидролизатах ИГБ установлены пептидные последовательности, обладающие свойствами ингибиторов АПФ и ингибиторов ДПП-IV, соответственно, они могут представлять интерес для использования в питании при сердечной, почечной недостаточности и сахарном диабете II типа.

В ходе четвертого блока эксперимента изучена взаимосвязь между показателями ФТС и распределением пептидов по фракциям, выделенным по СВММ. Проведена математическая обработка массива полученных экспериментальных данных, характеризующих ФТС образцов, значений СВММ и долей низко- (НМФБ – менее 20 кДа) и высокомолекулярной (ВМФБ – более 70 кДа) фракций.

Установлено, что доля высокомолекулярных веществ (от 70 кДа) прямо пропорционально связана с растворимостью в холодной воде и эмульсионной активностью (рисунок 19), а СВММ прямо пропорционально связана с эмульсионной стабильностью (рисунок 20).

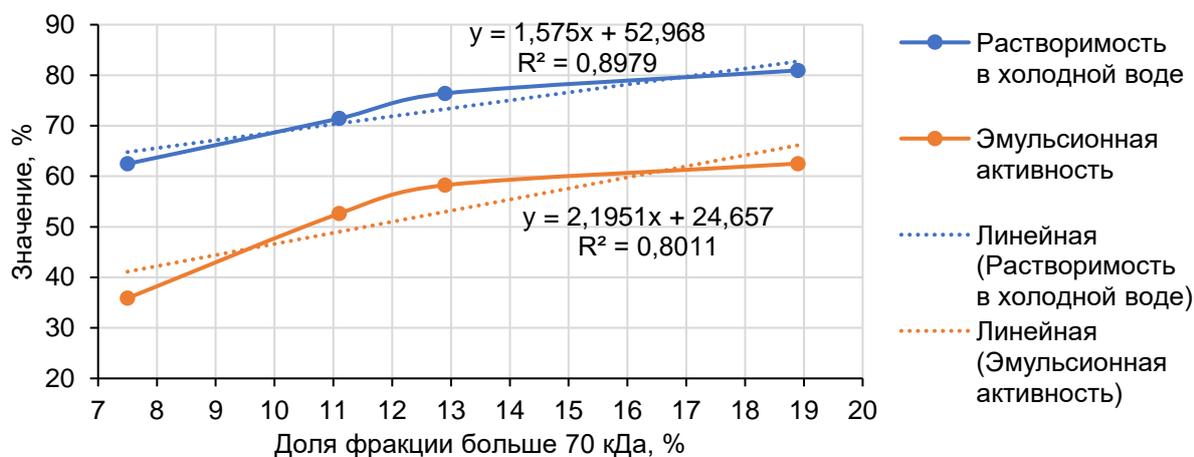


Рисунок 19 – Зависимость растворимости в холодной воде и эмульсионной активности от доли ВМФБ белков ИГБ при МФГ

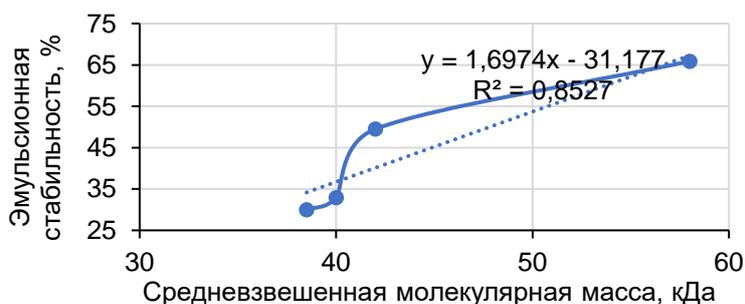


Рисунок 20 – Зависимость эмульсионной стабильности и СВММ белков ИГБ при МФГ

Для фракции низкомолекулярных белков (менее 20 кДа) установлена обратно пропорциональная зависимость с показателями растворимости в холодной и горячей воде (рисунок 21). Установленная ранее прямо пропорциональная зависимость с высокомолекулярной фракцией (более 70 кДа) (см. рисунок 20) говорит о том, что более высокомолекулярные белки лучше удерживают воду.

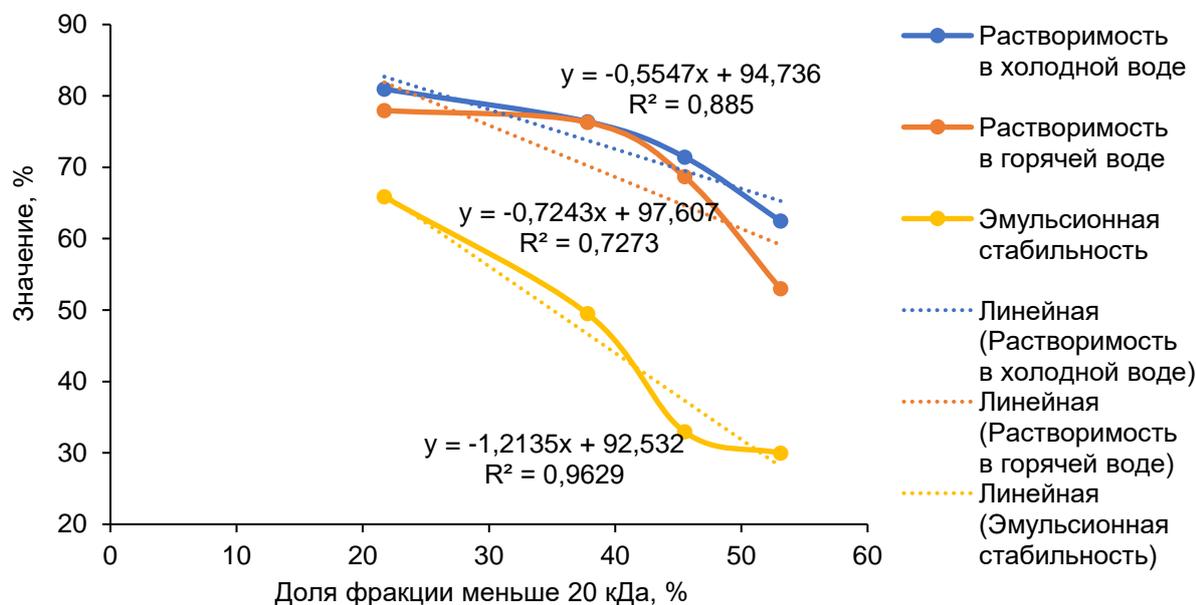


Рисунок 21 – Зависимость гидрофильных свойств от доли НМФБ белков ИГБ

Установлена корреляционная зависимость между показателями ВУС, растворимостью в холодной и горячей воде и количеством растворенного белка для образцов ИГБ. Рассчитанные коэффициенты корреляции свидетельствуют о сильной зависимости между указанными показателями. Разнонаправленность связи показателей с указанными свойствами может свидетельствовать об особенностях процесса набухания и растворимости, однако для более детальных выводов необходимо дальнейшее экспериментальное изучение.

Изучена зависимость ФТС между собой и установлено, что растворимость в горячей и в холодной воде прямо пропорционально связаны (рисунок 22) с коэффициентом пропорциональности 0,67, т. е. соотношение между белком, растворимым в холодной и горячей воде, не меняется и составляет 3:2. Также установлено, что растворимость в холодной воде прямо пропорционально связана с ВУС, эмульсионной активностью и эмульсионной стабильностью.

Зависимость растворимости и эмульсионной активности прямо пропорциональная и соблюдается и для холодной, и для горячей воды (рисунок 23), поскольку их взаимосвязь была определена выше. Также подтвердилась связь между растворимостью в горячей воде и ВУС.

Обратная связь установлена между пеноустойчивостью и эмульсионной активностью ИГБ при МФГ (рисунок 24).

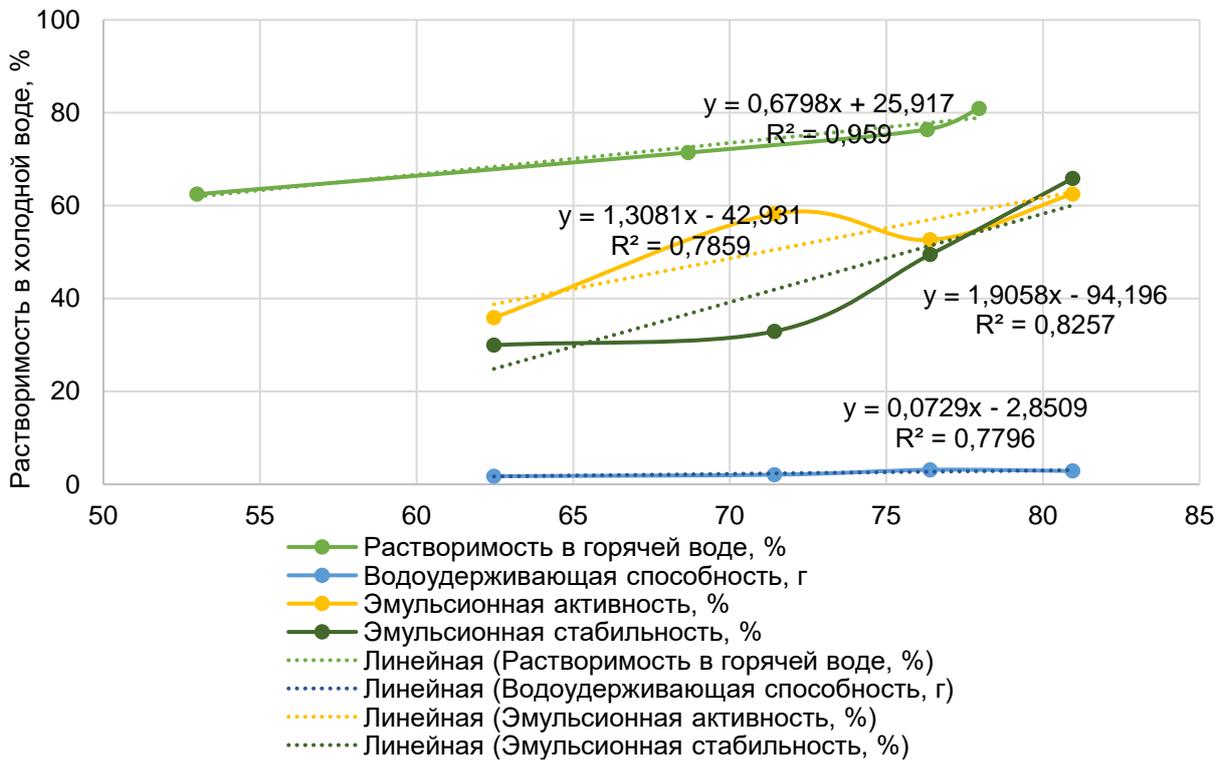


Рисунок 22 – Взаимосвязь растворимости в холодной воде с растворимостью в горячей воде, ВУС и показателями эмульсионной активности и стабильности белков ИГБ при МФГ

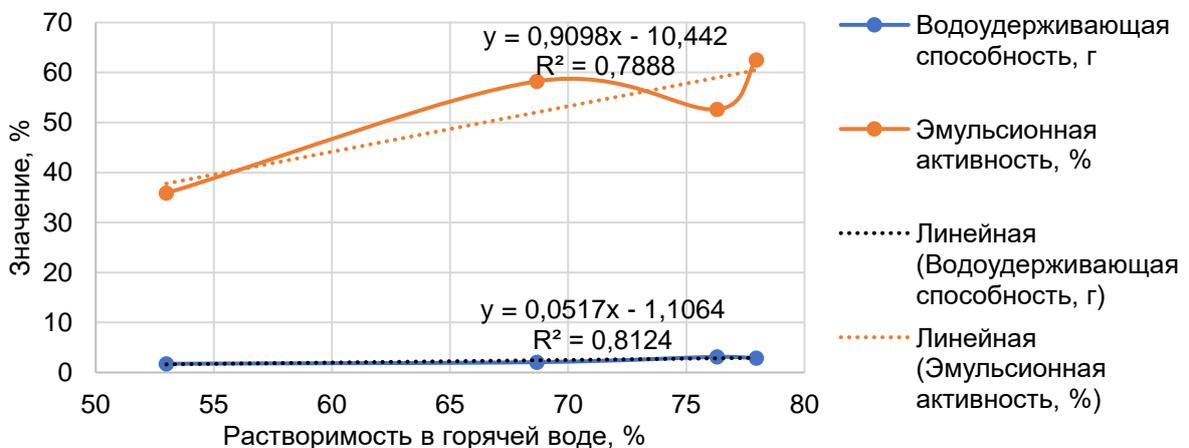


Рисунок 23 – Взаимосвязь растворимости в горячей воде с ВУС и эмульсионной активностью белков ИГБ при МФГ

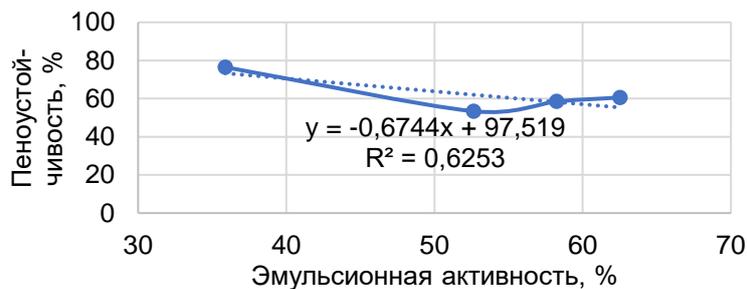


Рисунок 24 – Взаимосвязь пеноустойчивости с эмульсионной активностью белков ИГБ при МФГ

Доказано, что метод МФГ (Протосубтилин ГЗх А 250 ед/г) позволил добиться увеличения доли водорастворимых веществ, в том числе коротких пептидов и аминокислот, что способно обеспечить повышение пищевой и биологической ценности разрабатываемых на основе гидролизатов пищевых продуктов ввиду снижения содержания антипитательных веществ и увеличения доли низкомолекулярных пептидов и аминокислот. Эффективность применения МФГ для повышения биодоступности ППБС подтверждена в условиях модельной среды желудка, что является закономерным следствием происходящих в белковой молекуле глубоких структурных и физико-химических изменений.

**Глава 6. Использование продуктов переработки растительного белкового сырья в различных пищевых системах.** Предложена и апробирована система принятия решений (шестая задача), позволяющая осуществлять проектирование рецептур и технологии производства продуктов с использованием БСППБС (рисунок 25).

Разработанная в главе 3 МНП была апробирована для оценки и ранжирования проектируемых пищевых систем (рисунок 26).

Для нивелирования технологических рисков, возникших на этапе введения ППБС в пищевую матрицу, и в целях повышения усвояемости обоснован процесс кратковременного микроволнового воздействия на гидромодули ППБС (седьмая задача). При использовании СВЧ-обработки (в режиме: мощность 800 Вт, частота 2450 МГц, экспозиция 60 с, при контроле температуры) доказано снижение содержания антинутриентов в ППБС и улучшение органолептических характеристик. Поскольку в производстве эмульсионных пищевых систем вязкость непосредственно определяет текстуру и консистенцию конечного продукта, установлены зависимости вязкости от времени СВЧ-воздействия (рисунок 27).

Воздействие СВЧ на содержащиеся в БСППБС антипитательные вещества приводит к их деструкции, высвобождению связанных минеральных веществ (P, Mg, Zn, Ca, Fe, Na) и обеспечению биодоступности аминокислот, в том числе незаменимых. Значимого изменения содержания витаминов (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> и А) в ходе СВЧ-обработки не выявлено.

Результаты анализа подтверждают снижение содержания фитиновой кислоты в подвергнутых СВЧ-обработке гидролизатах ППБС в среднем на 63–93%, ингибитора трипсина – на 61–82% (таблица 9), что позволяет сделать вывод о пропорциональном увеличении биодоступности содержащихся в начальных образцах ППБС кальция, фосфора, магния, железа, цинка и натрия, а также о повышении биологической ценности.

Для полученных в ходе СВЧ-обработки ППБС, выступающих в дальнейшем основными ингредиентами эмульсионных пищевых матриц, оценены органолептические и микробиологические показатели, установлены показатели, характеризующие пищевую и биологическую ценность, а также содержание антипитательных веществ до и после микроволнового воздействия.

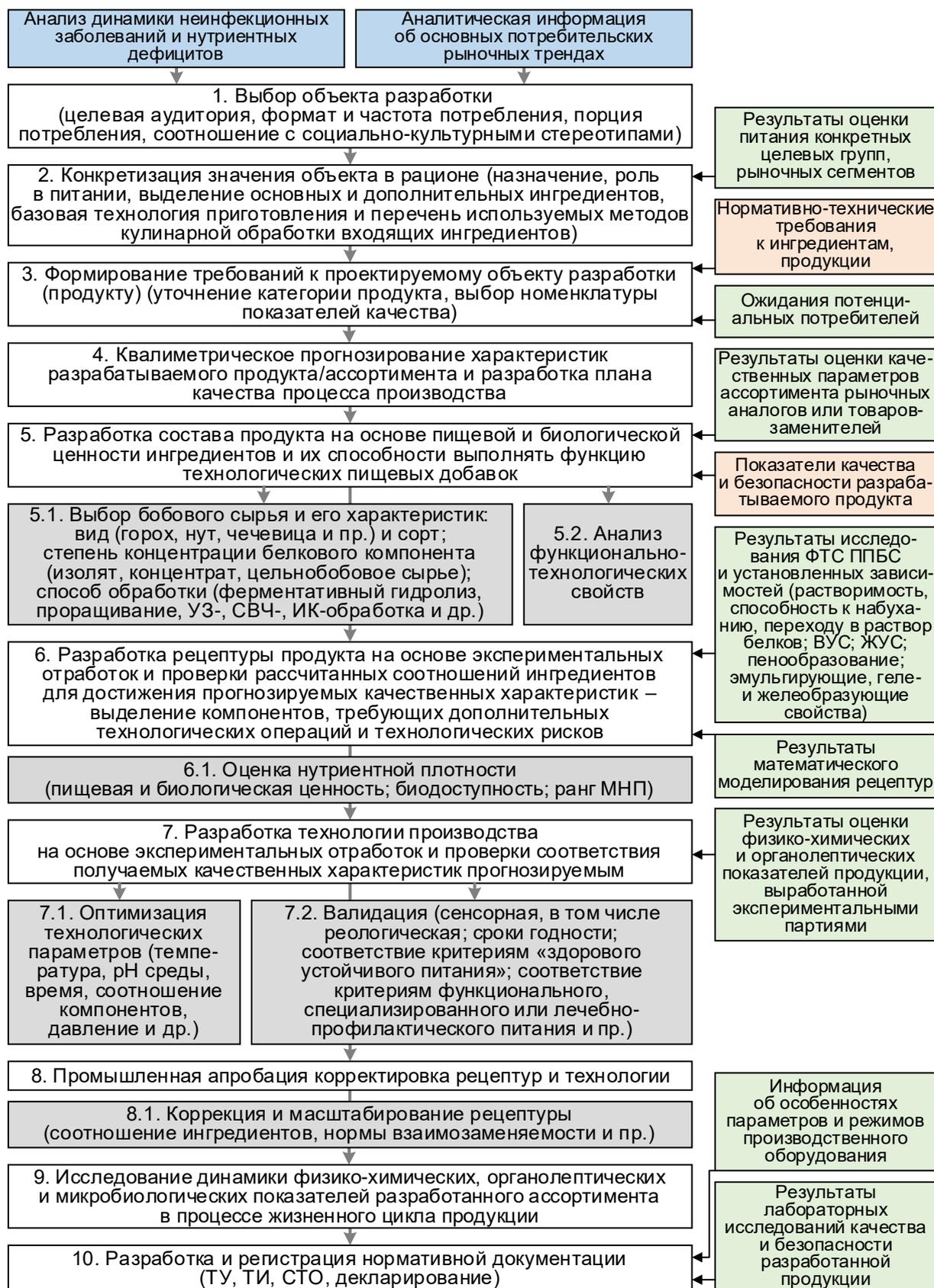


Рисунок 25 – Система принятия решений для разработки рецептур и технологии производства продуктов на основе БСПБС:

■ аналитические данные; ■ результаты исследований; □ процесс;  
 □ подпроцесс; ■ нормативные требования



Рисунок 26 – Ассортимент продукции, разработанной на основе БСПБС

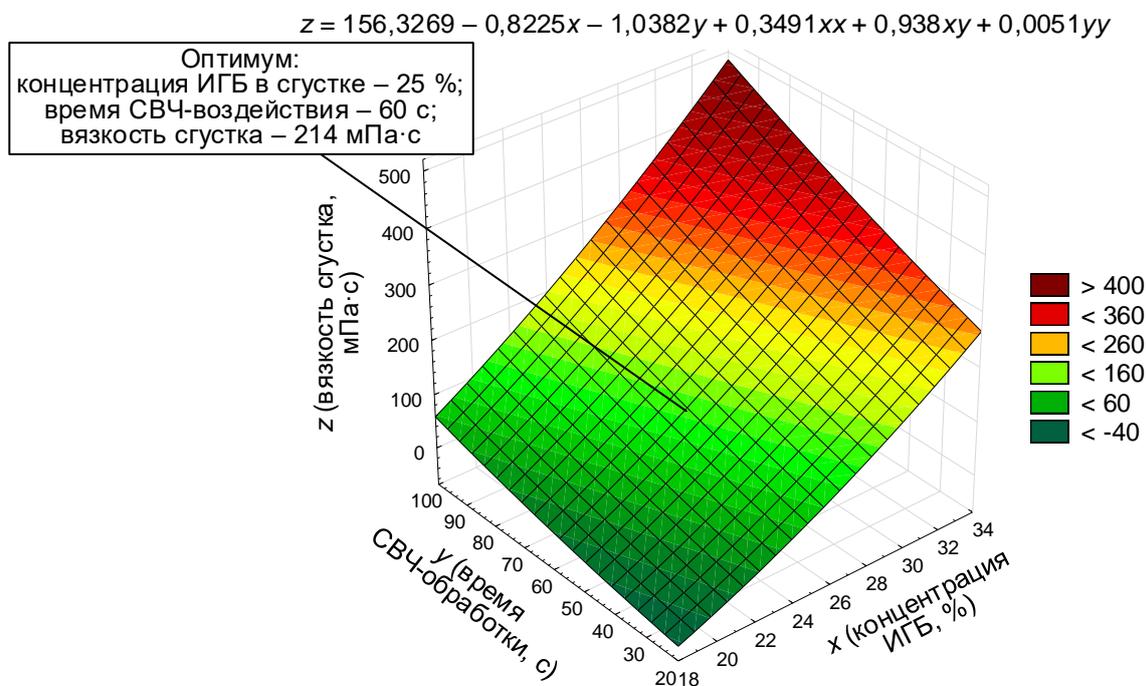


Рисунок 27 – Поверхность отклика зависимости вязкости белково-растительной основы эмульсий от концентрации ППБС и времени СВЧ-воздействия (на примере ИГБ)

Таблица 9 – Влияние СВЧ-обработки на показатели качества ППБС

Показатель	ИГБ	ИГБ+СВЧ	ГЧЗ	ГЧЗ+СВЧ	ГЧК	ГЧК+СВЧ	ГГЖ	ГГЖ+СВЧ	ГГЗ	ГГЗ+СВЧ
Органолептические показатели, балл										
Вкус	4,6±0,3	4,9±0,3	3,9±0,2	4,6±0,3	4,3	5±0,0	4,0±0,4	4,8±0,1	3,7±0,3	4,7±0,2
Цвет	4,8±0,1	4,8±0,1	4,5±0,3	4,8±0,1	4,6	5±0,0	4,6±0,3	4,8±0,2	4,7±0,1	4,7±0,2
Запах	4,7±0,1	4,9±0,1	4,2	4,4±0,3	4,0±0,5	5±0,0	3,8±0,3	4,8±0,1	4,2±0,3	4,8±0,2
Консистенция	4,4±0,3	4,8±0,1	3,8±0,4	4,2±0,3	3,8±0,2	4,7±0,1	3,8±0,3	4,6±0,3	3,9±0,2	4,6±0,2
Внешний вид	4,8±0,2	4,9±0,1	4,6±0,2	4,8±0,1	4,6±0,3	4,9±0,1	4,5±0,3	4,8±0,1	4,4±0,3	4,8±0,2
Средняя оценка	4,66	4,86	4,2	4,56	4,26	4,92	4,14	4,76	4,18	4,72
Содержание антипитательных веществ, мг/г										
ТИА	6,8±0,17	3,21±0,01	4,42±0,03	1,70±0,02	3,14±0,04	1,80±0,11	1,92±0,01	1,05±0,08	2,47±0,09	1,05±0,06
Фитиновая кислота	0,6±0,12	0,34±0,03	2,82±0,14	0,57±0,02	2,66±0,28	1,86±0,02	1,64±0,02	0,92±0,11	1,32±0,02	0,85±0,01
Пищевая и биологическая ценность, % на с. в.										
Белок	81,52±5,12	80,7±6,07	26,05±3,12	25,74±4,07	24,50±3,68	24,25±5,12	25,80±2,25	25,54±2,48	23,72±3,98	23,46±3,46
Жир	3,2±0,71	3,10±0,17	2,2±0,71	2,17±0,08	2,30±0,86	2,27±0,71	1,70±0,02	1,68±0,03	1,80±0,31	1,78±0,22
Углеводы	11,21±2,12	11±3,51	68,3±5,82	67,61±4,32	69,6±3,14	68,90±7,73	69,6±5,78	68,90±2,01	71,3±4,39	70,58±3,66
Зола	4,07±0,72	4,03±0,90	3,5±0,68	3,46±0,54	3,6±0,38	3,56±0,44	2,90±0,13	2,87±0,41	3,20±0,89	3,16±0,88

Для разработанного ассортимента эмульгированных соусов на растительной основе рассчитаны показатели содержания белков, жиров и углеводов, витаминов и минеральных веществ (таблица 10), определены значения ранга МНП, оценен экономический эффект от замены, проведены исследования физико-химических показателей, а также показателей качества и безопасности. При ранжировании с использованием разработанной МНП все позиции разработанного ассортимента подтвердили высокие значения нутриентной плотности.

Определено, что ИГБ перспективен не только как технологическая добавка в пищевые матрицы, но и как сырьевой ингредиент, позволяющий формировать продукцию с заменой части мясного сырья на овощные компоненты с сохранением содержания белка. Изучены механизмы встраивания ИГБ разной степени гидролиза в фаршевую пищевую матрицу для получения ассортимента мясосодержащих полуфабрикатов в тесте (вареников категории В) и мясных блюд (суфле с тыквой и суфле с цветной капустой).

Установлено, что введение изолятов растительных белков в мясной фарш приводит к повышению его вязкости. Однако при введении гидролизатов с высокой степенью гидролиза отмечается постепенное снижение этого эффекта; при введении высоких концентраций ГИГБ с высокой степенью ферментативного воздействия (ГИГБ 2%) вязкость фарша снижается, и он снова становится более жидким. На основе установленных зависимостей вязкости модельных фаршевых систем от степени гидролиза и концентрации внесения ППБС построена математическая модель (рисунок 28).

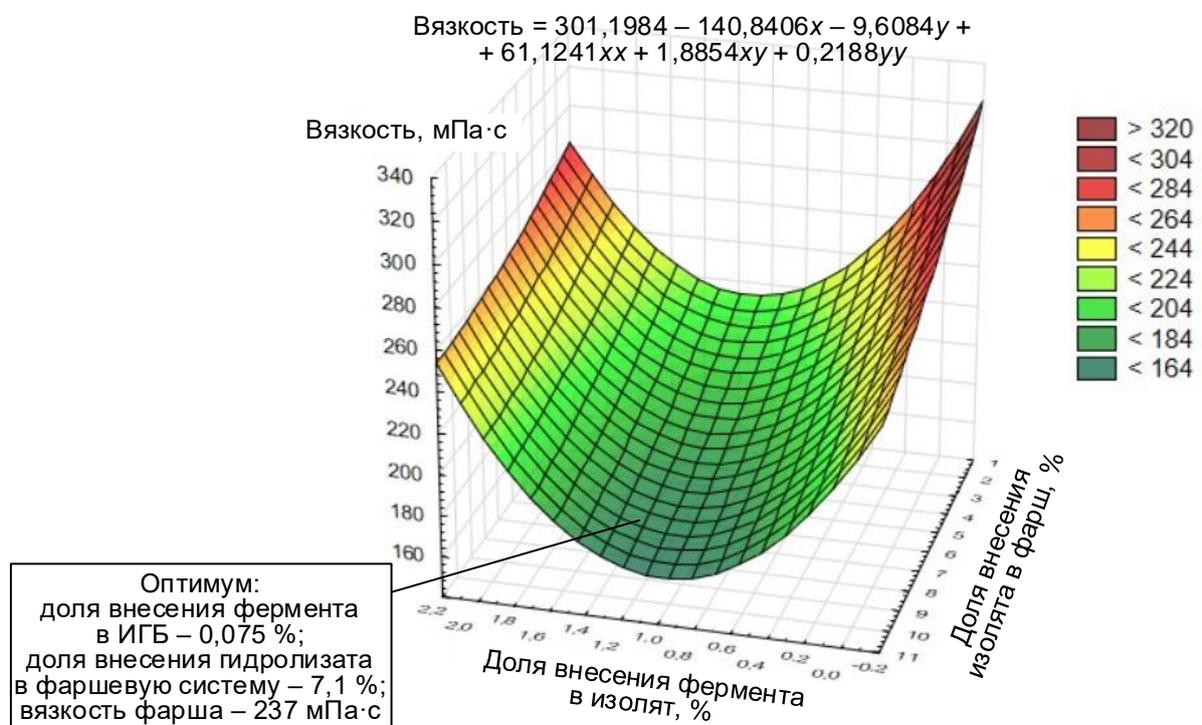


Рисунок 28 – Поверхность отклика зависимости вязкости модельных фаршевых систем от степени гидролиза и концентрации ППБС

Таблица 10 – Пищевая ценность разработанного ассортимента соусов майонезных и эмульгированных соусов на основе растительных масел (на 100 г)

Показатель	Майонез с яйцом (КО)	Майонезный соус с ИГБ	Соус ИГБ+ГГЗ (30%) с виноградным маслом	Соус ИГБ+ГГЖ (20%) с оливковым маслом	Соус ИГБ+ГЧЗ (30%) с кукурузным маслом	Соус ИГБ+ГЧК (20%) с кунжутным маслом
Белки, г	5,84±0,35	7,74±1,01	7,33±0,98	7,63±0,23	7,53±0,45	7,53±0,96
Жиры, г	59,81±2,11	48,61±2,23	34,21±1,05	39,01±2,11	34,21±1,65	39,01±1,87
Углеводы, г	3,16±0,09	1,65±0,11	4,91±0,03	3,82±0,08	5,61±0,24	4,02±0,02
Энергетическая ценность, ккал	573,9±4,1	474,5±2,3	356,1±4,3	396,4±3,7	359,6±2,9	396,6±3,8
Витамины						
В <sub>1</sub> , мг	0,02±0,01	0,06±0,01	0,10±0,01	0,11±0,01	0,07±0,01	0,07±0,01
В <sub>2</sub> , мг	0,15±0,01	0,02±0,01	0,02±0,01	0,03±0,01	0,02±0,01	0,02±0,01
А, мкг рет. экв.	62,51±0,03	0,2±0,02	0,24±0,02	0,38±0,03	0,4±0,02	0,33±0,01
Д, мкг	0,88	0	0	0	0	0
С, мг	1,55±0,01	1,55±0,02	1,19±0,01	3,1±0,01	1,19±0,01	1,24±0,01
Минеральные вещества						
Na, мг	326,37±3,87	287,62±4,18	203,08±4,11	304,63±8,13	204,93±2,65	232,42±6,12
K, мг	64,41±6,13	83,49±5,11	111,48±3,14	130,24±6,15	107,22±4,11	98,57±2,78
Ca, мг	33,67±0,55	30,75±1,86	36,83±0,98	41,24±0,09	36,37±2,17	34,63±3,01
Mg, мг	13,29±0,85	14,48±0,11	16,83±2,01	19,42±1,98	16,23±1,05	15,56±1,26
P, мг	81,96±1,17	36,82±1,12	42,85±1,08	52,62±0,99	55,32±1,01	48,74±0,87
Fe, мг	1,72±0,08	1,08±0,01	1,26±0,02	1,37±0,05	1,62±0,05	1,43±0,04
I, мг	8,04±0,02	0,51±0,02	0,37±0,01	0,70±0,01	0,61±0,02	0,41±0,01
Se, мг	10,8±0,13	1,17±0,08	0,94±0,01	1,82±0,02	2,32±0,11	1,91±0,09
F, мг	22,03±0,65	3,02±0,32	4,71±0,11	4,11±0,35	4,27±0,15	3,83±0,16
Себестоимость, р.	20,12	25,38	18,85	20,76	15,9	20,79
МНП	1,81	1,68	1,74	2,02	1,87	1,79
Себестоимость на 1 ранг МНП	–	11,12	15,11	10,85	10,28	8,52

Выявлено, что ГИГБ (0,075%) имеет оптимальные значения вязкости и при внесении в фаршевую систему в диапазоне от 6% до 8% обеспечивает содержание белка в соответствии с ГОСТ 32951.

Общий сравнительный анализ пищевой ценности разработанных рецептов с контрольными показал, что полученные блюда отвечают требованиям здорового устойчивого питания (ввиду высокого содержания растительных компонентов) и не уступают или практически равны (снижение не более 5%) контрольным образцам практически по всем контролируемым в МНП компонентам (таблица 11) на примере для мясосодержащих полуфабрикатов в тесте).

Установлено, что ППБС позволяет увеличить содержание белка в продукции на 4–6% по сравнению с контрольными образцами при снижении калорийности блюд на 8–9%. Значение ранга МНП образцов возросло в среднем на 0,15 пункта по сравнению с контрольными образцами при снижении стоимости сырьевого набора в среднем на 9,87%.

Использование ППБС в большинстве случаев позволило значительно увеличить нутриентную плотность контрольных образцов при снижении сырьевой стоимости, обеспечивающей 1 ранг МНП. Апробация МНП как инструмента ранжирования и оценки при разработке новой продукции и корректировке ингредиентного состава показала способность формировать более эффективные (с позиции нутриентной плотности) рецептурные решения.

В рамках решения восьмой задачи подтверждены качество и безопасность разработанного ассортимента, в том числе оценено содержание токсичных элементов, проведены микробиологические исследования, в том числе для полуфабрикатов, полученных на основе свежеприготовленных фаршевых систем с гидролизатом ИГБ, после 6 мес. хранения при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$ . На все позиции разработанного ассортимента сформированы технологические документы (акты пробной выработки, ТК, ТТК), техническая документация (ТУ и ТИ), лабораторно подтверждены сроки годности, осуществлена производственная апробация (ООО «Прогресс питание», г. Омск; ООО «Фуд-Мастер Фабрика», г. Новосибирск).

**Глава 7. Практическая апробация методологии системы оценки и ранжирования пищевых продуктов и рационов на основе интегральной оценки качества питания.** В рамках решения девятой задачи на основе использования аппарата нечеткой логики (на базе MATLAB 2021 и алгоритма Мамдани в системе FIS Matlab) апробирован разработанный расчетный модуль программного средства «Мониторинг питания и здоровья», позволяющий формировать итоговые сравнительные оценки рационов на основе системно собираемых данных. Проведено сравнение традиционных и авторских подходов при оценке и ранжировании школьного питания в субъектах Сибирского федерального округа (СФО) (рисунки 29 и 30).

Таблица 11 – Пищевая ценность разработанного ассортимента блюд на основе модельных фаршей (на 100 г)

Показатель	Суфле мясное с тыквой			Суфле мясное с цветной капустой		
	КО	6% ГИГБ (0,075 %)	Отношение к КО, %	КО	6% ГИГБ (0,075 %)	Отношение к КО, %
Физико-химические показатели, пищевая и биологическая ценность						
Белки, г	11,60±0,16	14,11±0,10	121,67	12,07±0,67	14,58±0,89	120,83
Жиры, г	17,31±0,34	15,43±0,78	89,10	17,37±0,36	15,49±0,54	89,14
Углеводы, г	1,42±0,02	1,66±0,02	116,90	1,36±0,02	1,60±0,03	117,65
Энергетическая ценность, ккал	207,87±4,50	202,00±2,20	97,18	210,00±3,78	204,13±3,66	97,21
Витамины						
В <sub>1</sub> , мг	0,15±0,01	0,17±0,02	108,70	0,17±0,01	0,18±0,02	108,00
В <sub>2</sub> , мг	0,13±0,01	0,13±0,01	95,00	0,15±0,02	0,14±0,01	95,45
А, мкг рет. экв.	70,80±1,54	70,87±1,02	100,09	21,40±0,66	21,47±0,98	100,31
Д, мкг	0,29±0,02	0,29±0,01	100,00	0,29±0,01	0,29±0,02	100,00
С, мг	1,07±0,01	1,07±0,04	100,00	9,33±0,08	9,33±0,61	100,00
Минеральные вещества, мг						
Na	190,99±6,61	187,96±8,02	98,42	192,51±3,44	189,48±2,85	98,43
K	230,87±0,92	245,81±2,78	106,47	232,53±4,12	247,47±1,66	106,42
Ca	19,82±0,63	28,67±0,13	144,67	20,11±0,42	28,97±0,14	144,02
Mg	18,09±0,44	21,16±0,37	116,99	18,95±0,13	22,03±0,56	116,22
P	125,85±2,01	126,83±2,24	100,77	133,39±3,01	134,36±2,96	100,73
Fe	1,61±0,12	1,75±0,07	108,26	1,91±0,09	2,04±0,11	106,99
I	27,32±0,44	26,95±0,38	98,66	27,99±0,62	27,62±0,16	98,69
Se	3,69±0,21	4,30±0,34	116,64	3,77±0,12	4,39±0,82	116,25
F	77,45±0,87	72,88±1,93	94,10	49,12±0,11	44,55±0,96	90,69
Себестоимость 100 г, р.	38,15	39,65	103,93	45,78	47,28	103,28
МНП	3,58	3,68	102,79	3,72	3,81	102,42
Себестоимость на 1 ранг МНП	10,65	10,76	101,03	12,31	12,39	100,65

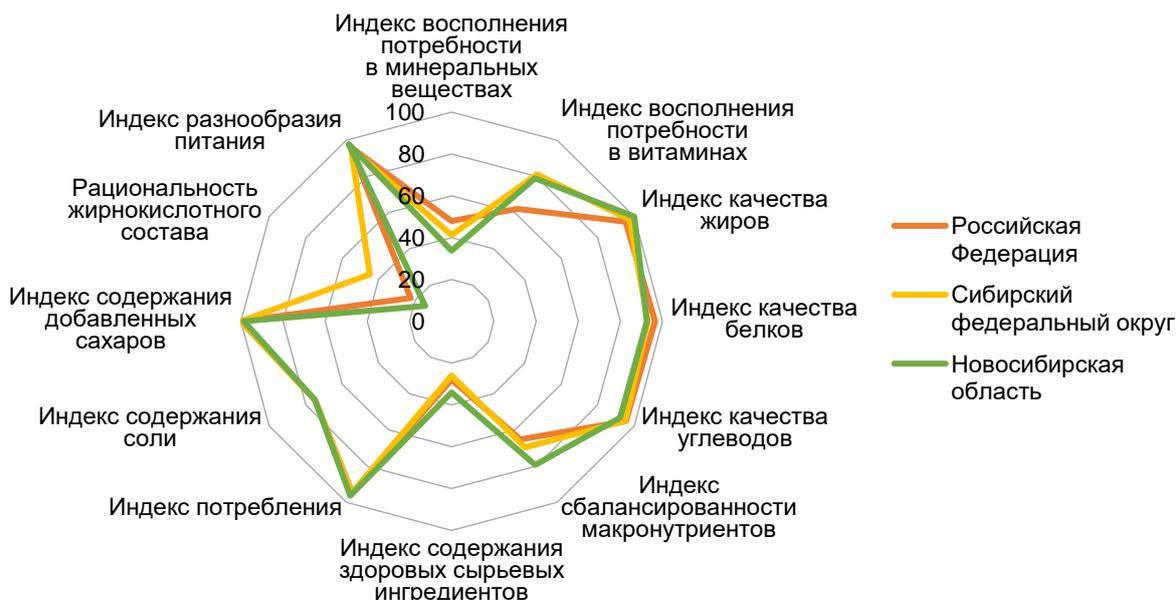


Рисунок 29 – Сравнение ИПОКР Новосибирской области с СФО и РФ

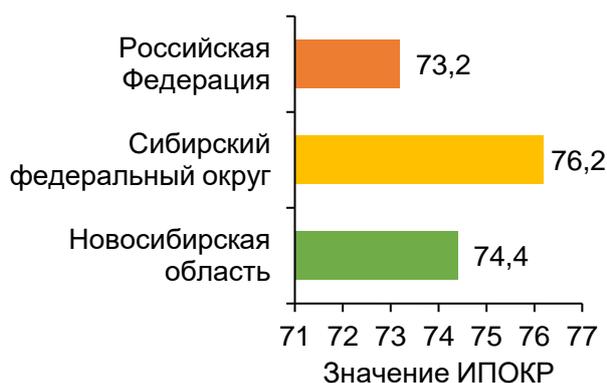


Рисунок 30 – Итоговые значения ИПОКР Новосибирской области, СФО и РФ

Проведена апробация МНП и ИПОКР при коррекции рационов для целевой группы потребителей на примере программы питания с повышенной общей калорийностью и нутриентной плотностью (кадетский корпус) и программы коррекции питания детей и подростков с избыточным весом и ожирением. Повышение нутриентной плотности рациона осуществляется в том числе за счет его обогащения рядом разработанных позиций на основе ППБС.

Пример части скорректированного циклического рациона для воспитанников кадетского корпуса приведен на рисунке 31, а соответствующее отражение «радаров» питания для базового рациона и рациона пищевой коррекции ожирения – на рисунке 32.

Апробация указанных инструментов при разработке программы питания для кадетского училища позволила увеличить содержания в рационе контролируемых витаминов ( $B_1$  на 28,95%,  $B_2$  на 31,6%, D на 75%) и минеральных веществ (Mg на 47%, P на 88%, Fe на 59%, I на 68%, Se на 24%), что отразилось в увеличении итогового значения для скорректированного рациона ИПОКР на 4,6 пункта.

При формировании рационов для программы пищевой коррекции при ожирении использование инструментов нутриентного профилирования и интегральной оценки рациона и включение в рацион блюд с большим значением рангов МНП по сравнению с контрольными образцами или альтернативными позициями позволило увеличить значение ИПОКР.

### Общий рацион для кадетов 1-4 кл 2025(с отработками)

Возрастная категория:от 7 до 11 лет

Характеристика питающихся:Без особенностей

№ рецептуры	Название блюда	Масса	Белки	Жиры	Углеводы	Эн. ценность	Витамины					Минеральные вещества								
		г.	г.	г.	г.	ккал	B1, мг	B2, мг	A, мкг рет.экв	D, мкг	C, мг	Na, мг	K, мг	Ca, мг	Mg, мг	P, мг	Fe, мг	I, мкг	Se, мкг	F, мкг
	<b>Неделя 1 Понедельник</b>																			
	<b>Завтрак</b>																			
321	Запеканка пшеничная с творогом	150	12.5	8	29.3	239	0.13	0.13	39.39	0.27	0.07	23.89	114.08	94.51	35.86	164.13	1.26	6.78	12.89	34.08
501	Кофейный напиток с молоком	200	3.9	2.9	13.9	96.9	0.05	0.13	13.29	0	0.52	38.57	184.05	148.37	30.67	106.79	1.07	9	1.76	20
Пром.	Хлеб пшеничный	20	1.5	0.2	9.8	46.9	0.02	0.01	0	0	0	99.8	18.6	4	2.8	13	0.22	0.64	1.2	2.9
Пром.	Хлеб ржано-пшеничный	20	1.3	0.2	7.9	39.1	0.03	0.02	0	0	0	81.2	47	5.8	9.4	30	0.78	0.88	1.1	4.8
Пром.	Джем из абрикосов	20	0.1	0	14.4	57.9	0	0	0.01	0	0.48	0.4	30.4	2.4	1.8	3.6	0.08	0.64	1.2	2.9
	<b>Итого за Завтрак</b>	<b>410</b>	<b>19.3</b>	<b>11.3</b>	<b>75.3</b>	<b>479.8</b>	<b>0.23</b>	<b>0.29</b>	<b>52.69</b>	<b>0.27</b>	<b>1.07</b>	<b>243.86</b>	<b>394.13</b>	<b>255.08</b>	<b>80.53</b>	<b>317.52</b>	<b>3.41</b>	<b>17.94</b>	<b>18.15</b>	<b>64.68</b>
	<b>Второй завтрак</b>																			
54-29гн	Чай со смородиной и сиропом стевии	200	0.3	0.1	2.3	11.3	0	0.01	1.52	0	9.64	3.54	55.44	66.68	7.06	10.62	0.85	0.12	0.12	2.04
1	Хлеб гречневый из цветной капусты	50	4.5	2.8	11.7	89.6	0.08	0.09	23.09	0.31	5.25	31.39	73.8	42.98	19.79	78.15	1.35	5.4	5.13	7.69
	<b>Итого за Второй завтрак</b>	<b>250</b>	<b>4.8</b>	<b>2.9</b>	<b>14</b>	<b>100.9</b>	<b>0.08</b>	<b>0.1</b>	<b>24.61</b>	<b>0.31</b>	<b>14.89</b>	<b>34.93</b>	<b>129.24</b>	<b>109.66</b>	<b>26.85</b>	<b>88.77</b>	<b>2.2</b>	<b>5.52</b>	<b>5.25</b>	<b>9.73</b>
	<b>Обед</b>																			
	Салат из квашеной капусты с горошком и семенами льна (1-3)	100	3.1	8.2	6	110.4	0.09	0.05	55.88	0	32.53	655.15	340.59	63.31	40.03	74.7	0.96	0.64	7.67	20.05
54-10с	Суп крестьянский с крупой (крупя перловая)	250	6.4	7.2	13.5	144.5	0.05	0.05	129.11	0	8.03	120.71	250.24	45.8	18.29	65.54	0.69	19.08	3.55	20.85
54-26г	Рис с овощами	150	3.2	5.7	26	167.8	0.04	0.03	268.68	0	1.33	240.26	93.2	17.35	26.16	67.46	0.57	21.56	4.64	31.3
	Зразы из минтая рубленые	75	9.7	3.3	8.7	103.5	0.06	0.09	146.99	0.23	1.17	147.53	237.89	46.76	32.67	140.21	0.7	86.4	9.26	366.49
	Соус овощной (тыквенный+ГЧК)	100	3	4.7	7.2	83.3	0.04	0.04	127.69	0	3.14	5.17	180.68	21.52	15.35	38.77	0.92	0.77	1.07	46.69
54-18хн	Компот из брусники с медом	200	0.2	0.1	8.8	36.8	0	0.01	0.96	0	1.2	1.82	17.93	68.16	1.48	4.35	0.14	0.2	0	10
Пром.	Хлеб ржано-пшеничный	20	1.3	0.2	7.9	39.1	0.03	0.02	0	0	0	81.2	47	5.8	9.4	30	0.78	0.88	1.1	4.8
Пром.	Хлеб пшеничный	20	1.5	0.2	9.8	46.9	0.02	0.01	0	0	0	99.8	18.6	4	2.8	13	0.22	0.64	1.2	2.9
	<b>Итого за Обед</b>	<b>915</b>	<b>28.4</b>	<b>29.6</b>	<b>87.9</b>	<b>732.3</b>	<b>0.33</b>	<b>0.3</b>	<b>729.31</b>	<b>0.23</b>	<b>47.4</b>	<b>1351.64</b>	<b>1186.13</b>	<b>272.7</b>	<b>146.18</b>	<b>434.03</b>	<b>4.98</b>	<b>130.17</b>	<b>28.49</b>	<b>503.08</b>
	<b>Полдник</b>																			
26	Творожная запеканка с морковью и яблоком (1-3 года)	100	12.6	5.4	40.9	262.7	0.04	0.14	187.8	0.1	4.61	70.97	153.13	95.16	22.5	131.64	0.91	10.49	15.8	32.49
Пром.	Сок апельсиновый	200	1.4	0.2	26.4	113	0.08	0.04	16	0	80	20	358	36	22	26	0.6	0	0	0
	<b>Итого за Полдник</b>	<b>300</b>	<b>14</b>	<b>5.6</b>	<b>67.3</b>	<b>375.7</b>	<b>0.12</b>	<b>0.18</b>	<b>203.8</b>	<b>0.1</b>	<b>84.61</b>	<b>90.97</b>	<b>511.13</b>	<b>131.16</b>	<b>44.5</b>	<b>157.64</b>	<b>1.51</b>	<b>10.49</b>	<b>15.8</b>	<b>32.49</b>
	<b>Ужин</b>																			

Рисунок 31 – Фрагмент окна расчета разработанного меню (кадетский корпус)



Рисунок 32 – Графическое отображение ИПОКР питания базового рациона и рациона для коррекции ожирения

Увеличение ИПОКР на 7,2 пункта в скорректированном рационе по сравнению с базовым сопровождается соответствующим ростом показателей качества белкового, жирового и углеводного компонентов и увеличением содержания контролируемых витаминов (D на 175,7%, B<sub>1</sub> на 11,5%) и минеральных веществ (Mg на 63%, P на 23%, Fe на 56%).

Результаты использования предложенных цифровых инструментов демонстрируют их практическую применимость, а также возможность на основе оценки влияния различных компонентов меню на показатели здоровья и когнитивного развития детей структурировать приоритеты финансирования и корректировать нормативы содержания нутриентов в школьных рациональных меню.

Таким образом, использование инструментов ранжирования и оценки (МНП, ИПОКР), в СППУР позволяет не только систематизировать и анализировать большие объемы информации, но и учитывать поведенческие, социальные и экономические факторы, что критически важно для разработки эффективных, адаптивных и устойчивых стратегий в области питания. Внедрение в системную практику разработанных инструментов нутриентного профилирования пищевых систем и рационов позволит сформировать научно обоснованную основу для принятия решений по повышению эффективности национальных стратегий здорового устойчивого питания, их социальной справедливости и экологической результативности.

## Заключение

На основании выполненных исследований предложены для внедрения в практику научные подходы в области формирования пищевых систем и рационов на основе концепции нутриентной плотности, в частности технологические приемы создания новых пищевых систем с использованием в каче-

стве сырьевого ингредиента БСППБС. На базе полученных новых данных сделаны следующие выводы.

1. Разработан и верифицирован научно-методологический подход к оценке и ранжированию пищевых систем и рационов на основе нутриентной плотности и использования нечеткой логики и интеллектуальных цифровых технологий. Подтверждена воспроизводимость интегральных оценок и сопоставимость результатов при разнородности исходных данных.

2. Разработан и апробирован методический подход к формированию системы нутриентного профилирования (включая принципы и алгоритм разработки МНП), разработаны МНП и интегральный показатель оценки качества рациона (ИПОКР). Создан модуль программного средства «Мониторинг питания и здоровья» (внедрен в ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора), реализующего расчеты предложенных оригинальных инструментов ранжирования и оценки: МНП и ИПОКР при ранжировании и проектировании пищевой продукции и рационов с повышенной нутриентной плотностью.

3. На основе анализа и систематизации подходов к получению белка из традиционных, нетрадиционных и альтернативных источников разработана гармонизированная система РВ-анализа для оценки воздействия на здоровье человека и устойчивость продовольственной системы пищевых источников белка. Результаты РВ-анализа позволили обосновать преимущества использования бобового сырья и продуктов его переработки в рационе питания человека.

4. Предложена и апробирована методология проектирования белково-содержащих пищевых систем на основе разработанной унифицированной методики измерения функционально-технологических свойств получаемых на основе бобового сырья сухих изолятов, концентратов, гидролизатов: растворимость в холодной и горячей воде, ЖУС, ВУС, пенообразующая способность, пеноустойчивость, доля термически стабильной пены, эмульсионная активность, эмульсионная стабильность, доля термически стабильной эмульсии.

5. Доказано, что метод МФГ (Протосубтилин ГЗх (А 250 ед/г), температура 55 °С, рН 6,7–7,2, продолжительность инкубации 4 ч с контролем соотношения фермента и субстрата) позволил добиться увеличения доли водорастворимых веществ до 62–81 %, в том числе коротких пептидов и аминокислот, что, в свою очередь, способно обеспечить повышение пищевой и биологической ценности разрабатываемых на основе гидролизатов пищевых продуктов за счет сдвига к низкомолекулярным фракциям и снижения содержания антипитательных веществ.

В ходе математической обработки данных для образцов гидролизатов ИГБ была установлена корреляционная зависимость между ВУС, растворимостью в холодной и горячей воде и количеством растворенного белка и показателями, характеризующими пептидную структуру белка: СВММ, доли НМФБ и доли ВМФБ, что позволяет прогнозировать свойства пищевых систем, получаемых на их основе.

6. Разработанная система принятия решений с использованием модели нутриентного профиля апробирована при проектировании и оценки качества:

– соусов: пастообразных кулинарных (тыквенный, томатный и ореховый); неэмульгированных на основе растительных масел и ИГБ (дрессинги подсолнечный, кунжутный, оливковый и кукурузный); соус майонезный на основе ИГБ (без яичных компонентов), эмульгированные на основе растительных масел: ИГБ+ГГЗ (30%) с виноградным маслом; ИГБ+ГГЖ (20%) с оливковым маслом; ИГБ+ГЧЗ (30%) с кукурузным маслом и ИГБ+ГЧК (20%) с кунжутным маслом);

– комбинированных фаршевых систем (6% ГИГБ (0,075%)) и продукции на их основе: полуфабрикатов мясосодержащих в тесте (вареники с мясом и тыквой, мясом и цветной капустой, мясом и морковью) и мясных блюд (суфле мясное с цветной капустой и суфле мясное с тыквой).

При ранжировании с использованием разработанной оригинальной МНП все позиции разработанного ассортимента подтвердили более высокие значения нутриентной плотности по сравнению с контрольными образцами при сохранении или увеличении органолептических показателей и сохранение или снижение себестоимости.

7. Обоснована эффективность использования СВЧ-обработки как стадии технологического процесса (в режиме: мощность 800 Вт; частота 2450 МГц, экспозиция 60 с) в целях снижения содержания антинутриентов в ППБС.

Установлены закономерности потери массы и изменения вязкости растворов ИГБ разной концентрации от времени СВЧ-обработки (экспозиция 30; 45; 60; 75; 90 с). Результаты эксперимента подтверждают снижение содержания фитиновой кислоты в подвергнутых СВЧ-обработке гидролизатах ППБС в среднем на 63–93%, ингибитора трипсина – на 61–82%; значительное улучшение органолептических свойств гидролизатов; снижение КМАФАнМ до уровня ниже  $10^3$  КОЕ/г для всех видов образцов.

8. Проведена оценка качества, безопасности готовых изделий, установлена вариативность показателей при хранении, разработана техническая документация (акты пробной выработки, ТК, ТТК), ТУ и ТИ, лабораторно подтверждены сроки годности, осуществлена производственная апробация (ООО «Прогресс питание», г. Омск; ООО «Фуд-Мастер Фабрика», г. Новосибирск).

9. Предлагаемый научно-практический подход апробирован на основе использования модуля программного средства «Мониторинг питания и здоровья» (внедрен в ФБУН «Новосибирский НИИ гигиены» Роспотребнадзора), реализующего расчеты МНП и ИПОКР на этапах проектирования и комплексной оценки качества и эффективности рационов. Доказано системное увеличение нутриентной плотности рациона программы питания (с повышенной общей калорийностью и нутриентной плотностью) для учащихся 1–4-х классов кадетского училища – увеличено значение ИПОКР на 4,6 пункта. Для рациона программы пищевой коррекции при ожирении детей 7–11 лет (с пониженной общей калорийностью и повышенной нутриентной плотностью) значение ИПОКР возросло на 7,2 пункта, что нашло визуальное отражение на «радарях» качества рациона. Анализ частных показателей ИПОКР подтверждает соответствие спроектированных рационов требованиям здорового устойчивого питания.

Таким образом, предложенные в работе концептуальные подходы, инструментарий и результаты верификации методологического подхода к процессу оценки и ранжирования пищевых систем и рационов развивают перспективное научное направление, связанное с обеспечением населения здоровым питанием и формированием устойчивых продовольственных систем. Предложенные подходы к использованию МФГ и СВЧ-обработки в процессе модификации и улучшения свойств ППБС могут быть рекомендованы к применению в отношении других бобовых культур, а также для предприятий пищевой индустрии различной направленности производства.

## Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

### Статьи в журналах, входящих в базу данных RSCI

1. **Рождественская, Л. Н.** Реализация стратегии профилактики дефицита микронутриентов / Л. Н. Рождественская, Е. С. Бычкова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2014. – № 2–3 (338–339). – С. 82–85.
2. **Рождественская, Л. Н.** Когнитивное моделирование как основа совершенствования систем внутренней продовольственной помощи и социального питания / Л. Н. Рождественская, М. А. Ягольницер // Пищевая промышленность. – 2016. – № 12. – С. 30–35.
3. **Рождественская, Л. Н.** Повышение качества пищевых продуктов на основе прослеживаемости / Л. Н. Рождественская, Л. П. Липатова // Пищевая промышленность. – 2017. – № 11. – С. 64–68.
4. **Рождественская, Л. Н.** Анализ вызовов и современных тенденций развития технологий на рынке белков / Л. Н. Рождественская, Е. С. Бычкова, А. Л. Бычков // Пищевая промышленность. – 2018. – № 5. – С. 42–47.
5. **Рождественская, Л. Н.** Систематизация методов получения животных белков на основе особенностей используемых технологических решений и традиционности источников. Часть 1. Анализ динамики производства животных протеинов и существующие вызовы / Л. Н. Рождественская, Е. С. Бычкова, О. С. Даниленко [и др.] // Пищевая промышленность. – 2018. – № 10. – С. 15–19.
6. **Рождественская, Л. Н.** Систематизация методов получения животных белков на основе особенностей используемых технологических решений и традиционности источников. Часть 2. Перспективы получения животных протеинов с учетом традиционности источников и технологий / Л. Н. Рождественская, Е. С. Бычкова, О. С. Даниленко, О. И. Ломовский // Пищевая промышленность. – 2018. – № 11. – С. 66–72.
7. Бычкова, Е. С. Технологические особенности и перспективы использования растительных белков в индустрии питания. Часть 1. Анализ пищевой и биологической ценности высокобелковых продуктов растительного происхождения / Е. С. Бычкова, **Л. Н. Рождественская**, В. Д. Погорова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 2. – С. 53–57.
8. Бычкова, Е. С. Технологические особенности и перспективы использования растительных белков в индустрии питания. Часть 2. Способ снижения антипитательных свойств растительного сырья / Е. С. Бычкова, **Л. Н. Рождественская**, В. Д. Погорова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 3. – С. 46–54.

9. **Рождественская, Л. Н.** Потенциальные возможности промышленного получения изолята горохового белка / Л. Н. Рождественская, П. С. Бикбулатов, О. В. Чугунова [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 8 (209). – С. 130–139.

10. **Рождественская, Л. Н.** Здоровое устойчивое питание как драйвер трансформации продовольственных систем / Л. Н. Рождественская // Аграрная наука. – 2025. – Т. 400, № 11. – С. 187–197.

### **Статьи в изданиях, входящих в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий ВАК**

11. **Рождественская, Л. Н.** Совершенствование функционирования систем социального питания на основе применения экономической диагностики / Л. Н. Рождественская // Вестник НГУЭУ. – 2012. – № 1. – С. 274–281.

12. **Рождественская, Л. Н.** Обоснование потребности в школьном питании / Л. Н. Рождественская // Modern Economy Success. – 2017. – № 4. – С. 58–69.

13. **Рождественская, Л. Н.** О необходимости обеспечения физической и экономической доступности здорового питания населения / Л. Н. Рождественская, О. В. Рогова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 94–104.

14. **Рождественская, Л. Н.** Технические решения для эффективного использования продовольственных ресурсов в технологии пищевых систем / Л. Н. Рождественская, О. В. Чугунова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2023. – Т. 11, № 4. – С. 6–18.

15. **Рождественская, Л. Н.** Перспективы нутриентного профилирования для профилактики заболеваний и укрепления здоровья / Л. Н. Рождественская, С. П. Романенко, О. В. Чугунова // Индустрия питания. – 2023. – Т. 8, № 2. – С. 63–72.

16. **Рождественская, Л. Н.** Роль системы мониторинга и оценки национальной программы питания школьников в совершенствовании элементного статуса питающихся / Л. Н. Рождественская, С. П. Романенко, М. А. Пустовая // Микроэлементы в медицине. – 2024. – Т. 25, № 2. – С. 85–87.

17. Романенко, С. П. Обоснование комбинированного подхода к оптимизации рационов населения Арктической зоны / С. П. Романенко, **Л. Н. Рождественская**, А. П. Лачугин // Микроэлементы в медицине. – 2024. – Т. 25, № 2. – С. 87–89.

18. **Рождественская, Л. Н.** Разработка технических решений по снижению антипитательных веществ бобового сырья / Л. Н. Рождественская, О. В. Чугунова // Индустрия питания. – 2025. – Т. 10, № 2. – С. 33–45.

19. Новикова, И. И. Обоснование методических подходов к организации группового мониторинга эффективности мероприятий по снижению ожирения в образовательных учреждениях / И. И. Новикова, **Л. Н. Рождественская** // Вопросы детской диетологии. – 2025. – Т. 23, № 6. – С. 62–72.

### **Статьи в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и Scopus**

20. Bychkova, E. Formulation and quality evaluation of partially prepared dough using protein plant raw materials / E. Bychkova, E. Podgorbunskikh, **L. Rozhdestvenskaya**, P. Kudachyova // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2921 (1). – Art. 050001.

21. Bychkova, E. The problems and prospects of developing food products from high-protein raw materials / E. Bychkova, **L. Rozhdestvenskaya**, E. Podgorbunskikh, P. Kudachyova // Food Bioscience. – 2023. – Vol. 56. – Art. 103286.

22. **Rozhdestvenskaya, L.** Use of nexus-approach principles in M&E systems of national nutrition and quality of life programs / L. Rozhdestvenskaya, S. Romanenko, A. Lachugin // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 451. – Art. 05002.

23. Михеев, В. Н. О необходимости систематической актуализации таблиц химического состава пищевых продуктов и их структуры / В. Н. Михеев, **Л. Н. Рождественская**, В. А. Щевелева, А. П. Лачугин // Вопросы питания. – 2023. – Т. 92, № 5 (549). – С. 197.

24. **Рождественская, Л. Н.** Обзор инструментальных методов, используемых в области анализа пищевой продукции / Л. Н. Рождественская, С. П. Романенко, И. О. Ломовский, А. П. Лачугин // Пищевые системы. – 2024. – Т. 7, № 4. – С. 523–534.

25. **Rozhdestvenskaya, L.** Use of hydrolysed lentil protein in sauce technology / L. Rozhdestvenskaya, O. Chugunova // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 537. – Art. 10018.

26. **Рождественская, Л. Н.** Унификация подходов к оценке качества и функционально-технологических свойств белоксодержащих продуктов переработки говяжьего сырья / Л. Н. Рождественская, И. О. Ломовский, О. В. Чугунова // Пищевые системы. – 2025. – Т. 8, № 2. – С. 235–243.

27. Новикова, И. И. Региональные особенности организации школьного питания в Уральском федеральном округе / И. И. Новикова, С. П. Романенко, **Л. Н. Рождественская** [и др.] // Профилактическая и клиническая медицина. – 2025. – № 1 (94). – С. 14–22.

### Монографии

28. Разработка рецептур и технологий, оценка качества и пищевой ценности продукции функционального и специализированного назначения / А. Л. Бычков, Е. С. Бычкова, **Л. Н. Рождественская** [и др.]. – Новосибирск: НГТУ, 2019. – 162 с. – ISBN 978-5-7782-4051-3.

29. Здоровое питание: тренды и перспективы / А. В. Акамова, Е. В. Вишняков, **Л. Н. Рождественская** [и др.]. – Новосибирск: НГТУ, 2020. – 230 с. – ISBN 978-5-7782-4274-6.

30. Бычкова, Е. С. Альтернативные источники белка как основа перспективного развития пищевых производств / Е. С. Бычкова, **Л. Н. Рождественская**, А. Л. Бычков, Е. М. Подгорбунских // Современные технологии: проблемы и тенденции развития. – Петрозаводск: Новая наука, 2022. – С. 221–257.

### Свидетельства о государственной регистрации

31. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2024621145 Рос. Федерация. Сравнительная база данных химического состава продуктов питания: № 2024620793: заявл. 05.03.2024: опубл. 18.03.2024 / И. И. Новикова, С. П. Романенко, **Л. Н. Рождественская** [и др.].

32. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2023623681 Рос. Федерация. Результаты гигиенической оценки организованного питания в общеобразовательных организациях: № 2023623502: заявл. 23.10.2023: опубл. 30.10.2023 / И. И. Новикова, С. П. Романенко, В. В. Сарычев, **Л. Н. Рождественская**.

33. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2025626214 Рос. Федерация. Терминологический указатель пищевых продуктов: заявл. 03.12.2025: опубл. 17.12.2025 / И. И. Новикова, С. П. Романенко, **Л. Н. Рождественская** [и др.].

## Список сокращений и условных обозначений

АПФ – ангиотензинпревращающий фермент  
 БОФОС – бобовые, овощи, фрукты, орехи, семена  
 БСППБС – белковосодержащие продукты переработки бобового сырья  
 БЦ – биологическая ценность  
 ВМФБ – высокомолекулярная фракция белков  
 ВУС – влагоудерживающие свойства  
 ГГЖ – гидролизат гороха желтого  
 ГГЗ – гидролизат гороха зеленого  
 ГЖ – горох желтый  
 ГЗ – горох зеленый  
 ГИГБ – гидролизат изолята горохового белка  
 ГЧЗ – гидролизат чечевицы зеленой  
 ГЧК – гидролизат чечевицы красной  
 ЖУС – жирудерживающие свойства  
 ИВПВ – индекс восполнения потребности в витаминах  
 ИВПМВ – индекс восполнения потребности в минеральных веществах  
 ИГБ – изолят горохового белка  
 ИЗИ/БОФОС – индекс содержания здоровых сырьевых ингредиентов  
 ИЗП – индекс здорового питания  
 ИКБ – индекс качества белков  
 ИКЖ – индекс качества жиров  
 ИКП – индекс качества питания  
 ИКУ – индекс качества углеводов  
 ИНЖ – индекс содержания насыщенных жиров  
 ИП – индекс потребления (съедаемости)  
 ИПОКР – интегральный показатель оценки качества рациона  
 ИР – индекс разнообразия питания  
 ИС – индекс содержания соли  
 ИСА – индекс содержания добавленных сахаров  
 ИСБ – индекс сбалансированности макронутриентов  
 ИТЖ – индекс содержания транс-жиров  
 КО – контрольный образец  
 МНП – модель нутриентного профилирования  
 МФГ – механоферментативный гидролиз  
 НМФБ – низкомолекулярная фракция белков  
 НП – нутриентное профилирование  
 ППБС – продукты переработки бобового сырья  
 ПС – пенообразующая способность  
 РЖКС – рациональность жирнокислотного состава  
 СВММ – средневзвешенная молекулярная масса  
 СППУР – система поддержки принятия управленческих решений  
 ФТС – функционально-технологические свойства  
 ЧЗ – чечевица зеленая  
 ЧК – чечевица красная

Подписано в печать 27.02.2026.

Формат 60 × 84 1/16. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать плоская.

Уч.-изд. л. 2,0. Тираж 150 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета в подразделении оперативной полиграфии  
 Уральского государственного экономического университета  
 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45