

На правах рукописи



РАЗИНЬКОВА ВИКТОРИЯ ГЕННАДЬЕВНА

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РУБЛЕННЫХ МЯСОРАСТИТЕЛЬНЫХ  
ПОЛУФАБРИКАТОВ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Специальность: 4.3.3. Пищевые системы

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ставрополь – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»

Научный руководитель:

**Борисенко Александр Алексеевич**  
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

**Литвинова Елена Викторовна**  
доктор технических наук, доцент,  
профессор, и.о. заведующего кафедрой  
«Технологии и биотехнологии мяса и мясных  
продуктов» ФГБОУ ВО «Российский  
биотехнологический университет  
(РОСБИОТЕХ)»

**Омаров Руслан Сафербегович**  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры технологии производства и  
переработки сельскохозяйственной продукции  
ФГБОУ ВО «Ставропольский  
государственный аграрный университет»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Орловский государственный  
аграрный университет имени Н.В. Парахина»

Защита состоится «18» декабря 2025 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета 24.2.398.07 при ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» по адресу: 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, корп. 20 ауд. 312.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» по адресу: 355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1 и на сайте [https://ncfu.ru/upload/medialibrary/948/ik9wyefx4k239h896bv3jqevr301bjfx/Razinkova-V.G.\\_Dissertatsiya.pdf](https://ncfu.ru/upload/medialibrary/948/ik9wyefx4k239h896bv3jqevr301bjfx/Razinkova-V.G._Dissertatsiya.pdf)

С авторефератом можно ознакомиться по адресу: <https://ncfu.ru/nauka/dissertatsionnye-sovety/obyavleniya-o-zashchite-dissertatsiy/32799/>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.2.398.07,  
кандидат технических наук, доцент



Д.С. Мамай

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В соответствии со «Стратегией повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года» основной вектор развития пищевой, в том числе мясоперерабатывающей, промышленности направлен на создание и использование высокоэффективных производств, ориентированных на совершенствование технологий и улучшение качества готовых изделий. Одним из перспективных направлений для решения указанной задачи является применение электрофизических воздействий, способных обеспечить повышение технологичности процесса производства, эффективности использования сырьевых ресурсов и высокое качество выпускаемой продукции.

Современная конъюнктура отечественного продовольственного рынка стимулирует производителей расширять ассортимент пищевых продуктов для здорового питания. Технологии персонализированного, лечебного и функционального питания на государственном уровне признаны важнейшими для научно-технологического развития нашей страны. В связи с этим особую актуальность представляет разработка технологических решений для создания высококачественных и безопасных мясопродуктов профилактической направленности.

В условиях высокого темпа жизни и роста спроса на продукцию для здорового питания рубленые мясорастительные полуфабрикаты из мяса птицы становятся одним из наиболее востребованных продуктов мясоперерабатывающей промышленности. Разработка технологических решений производства таких полуфабрикатов с использованием электрофизических воздействий и целенаправленным комбинированием сырья животного, растительного происхождения и пищевых ингредиентов функциональной направленности позволит обеспечить высокое качество, безопасность и профилактическую направленность готовых изделий.

**Степень разработанности темы исследования.** Значительный вклад в развитие теории и практики инновационных технологий поликомпонентных мясопродуктов и способов модификации функционально-технологических свойств (ФТС) пищевых систем с использованием электрофизических воздействий внесли отечественные и зарубежные ученые, в том числе: Антипова Л. В., Борисенко А. А., Брачихин А. А., Глотова И. А., Горлов И. Ф., Жаринов А. И., Запорожский А. А.,

Касьянов Г. И., Красуля О. Н., Кудряшов Л. С., Литвинова Е. В., Лисицын А. Б., Тимошенко Н. В., Титов Е. И., Узаков Я. М., Храпцов А. Г., Чернуха И. М., Шестаков С. Д., Шипулин В. И., Zhou JinCai Z. J. C., Leong T. S. H.

Использование электроактивированной воды и ультразвуковая обработка являются одними из перспективных и активно изучаемых направлений электрофизических воздействий в технологии мясных продуктов. При этом уровень эффективности их использования во многом зависит от свойств и состава пищевой системы, а также оптимально подобранных параметров ее обработки. Поэтому разработка высокоэффективных технологических решений по применению электроактивированной воды и ультразвуковой обработки при производстве рубленых мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности представляет собой современную и актуальную область исследований.

**Цель и задачи исследований.** Целью исследований является научно-экспериментальное обоснование и разработка технологии рубленых мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности из мяса птицы с применением электрофизических воздействий.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- провести анализ научно-технических источников информации, определить основные направления совершенствования технологии рубленых мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности с использованием электрофизических воздействий;

- исследовать влияние электроактивированной воды (католита) на ФТС говяжьего коллагенового белка «VT-Pro»;

- определить рациональные параметры ультразвуковой обработки для приготовления белково-жировой эмульсии (БЖЭ) на основе коллагенового белка «VT-Pro»;

- провести молекулярное моделирование и установить рациональный режим ультразвуковой обработки для инкапсулирования дигидрокверцетина в матрицы на основе молочных сывороточных белков;

- выполнить компьютерное моделирование и обоснование рецептур базовых фаршей из мяса птицы, составляющих мясную основу для рубленых

мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности;

- разработать рецептуры и технологию рубленых мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности из мяса птицы с использованием электрофизических воздействий;

- провести оценку качества и безопасности разработанных рубленых мясорастительных полуфабрикатов и определить экономическую эффективность предложенных технологических решений.

**Научная новизна работы.** Установлено положительное влияние щелочной фракции электроактивированной воды на набухаемость, водопоглощающую (ВПС) и водоудерживающую (ВУС) способность отечественного коллагенового белка «VT-Pro», а также на водосвязывающую способность (ВСС) фарша рубленых мясорастительных полуфабрикатов и выход готовых изделий. Экспериментально определены рациональные параметры ультразвуковой обработки, обеспечивающие получение высокостабильной БЖЭ на основе коллагенового белка «VT-Pro» и подсолнечного масла.

Получены и описаны молекулярные модели дигидрокверцетина инкапсулированного в матрицы на основе сывороточных белков. Установлен рациональный режим ультразвуковой обработки, обеспечивающий высокую степень инкапсуляции полифенола.

Теоретически и экспериментально обоснованы новые рецептуры и технология рубленых мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности из мяса птицы с использованием электрофизических воздействий. Новизна технических решений подтверждена 2 патентами на изобретения и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическую значимость представляют полученные данные о возможности повышения ФТС коллагенового белка «VT-Pro» за счет использования электроактивированной воды и ультразвуковой обработки. Установлено положительное влияние ультразвукового воздействия на стабильность БЖЭ на основе коллагенового белка «VT-Pro» и подсолнечного масла, а также эффективность инкапсулирования дигидрокверцетина в концентрат сывороточных белков (КСБ).

Предложен, обоснован и реализован методологический подход для расширения ассортимента мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности. Разработаны рецептуры и технология рубленых полуфабрикатов профилактической направленности из мяса птицы с использованием электрофизических воздействий (ТУ 10.13.14-002-70438614-2025). Проведена опытно-промышленная апробация разработанной технологии в производственных условиях ООО «Сапоре Ит» и ООО «Мира».

**Методология и методы исследований.** Работа выполнялась с использованием стандартных, общепринятых и специальных методов исследования физико-химических, реологических, органолептических и показателей безопасности объектов исследования. Математическая обработка экспериментальных данных и их графическое представление, выполнены с помощью пакетов программ Microsoft Office 2016 и Statistica 14. Компьютерное молекулярное моделирование и визуализация выполнены с использованием программ HyperChem, VMD и NAMD. Моделирование рецептур, оптимизация нутриентной сбалансированности, расчет показателей пищевой и биологической ценности рубленых полуфабрикатов осуществлены с использованием программного комплекса Etalon.

**Положения, выносимые на защиту:**

- результаты исследований влияния электроактивированной воды и ультразвуковой обработки на ФТС говяжьего коллагенового белка «VT-Pro» и стабильность БЖЭ на его основе;
- результаты моделирования и научного обоснования инкапсулирования дигидрокверцетина в матрицы на основе сывороточных белков с использованием ультразвуковой обработки;
- результаты моделирования рецептур и исследования качественных характеристик фаршевых систем и рубленых мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности;
- технология рубленых мясорастительных полуфабрикатов из мяса птицы с использованием электрофизических воздействий.

**Степень достоверности результатов.** Степень достоверности подтверждается 3-5 кратной повторностью экспериментов с применением стандартных и

общепринятых методик, статистической обработкой полученных данных, использованием современных поверенных приборов и оборудования, имеющих установленный предел отклонений, проведением опытно-промышленных испытаний разработанных технологических решений.

**Апробация результатов.** Основные положения работы доложены на: Всероссийской конференции «Перспективные разработки молодых ученых в области производства и переработки сельскохозяйственной продукции», г. Ставрополь, 2019 г.; научно-практических конференциях «Университетская наука – региону», г. Ставрополь, 2019, 2023, 2024 г.; международной научно-практической конференции «Инновационное развитие аграрно-пищевых технологий», г. Волгоград, 2021 г.; XXII международной научно-практической конференции «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств», г. Барнаул, 2022 г.; XIV Евразийском экономическом форуме молодежи «Россия-Евразия-Мир. Интеграция-развитие-перспектива», г. Екатеринбург, 2024 г.; IX международной научно-практической конференции «Современные достижения биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты», г. Ставрополь, 2024 г.; международной научно-практической конференции «Научно-практическое развитие АПК и производства продуктов здорового питания», г. Омск, 2025 г.

По результатам научно-исследовательской работы выигран и успешно реализован грант от Фонда содействия инновациям в рамках программы «Студенческий стартап» (№1979ГССС15-L/88310, 2023 г.), получен диплом победителя Международного конкурса научно-исследовательских проектов «Продовольственная безопасность» в направлении «Инновационные технологии в получении качественной пищевой продукции» (г. Екатеринбург, 2024г.).

Часть исследований выполнена в рамках реализации комплексного проекта по теме: «Создание первого в России высокотехнологичного производства пребиотика лактулозы и функциональных молочных ингредиентов для импортозамещения в медицине, ветеринарии, детском питании, производстве лечебно-профилактических продуктов для людей и животных» (Соглашение № 075-11-2022-021 от 07.04.2022 г.) в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218.

**Личное участие автора.** Диссертационная работа выполнена автором самостоятельно и представляет собой результаты обобщения научных исследований, проведенных автором лично и при его непосредственном участии в реализации выигранных конкурсов и выполненных проектов.

**Публикации.** Основное содержание работы отражено в 17 публикациях, из них 3 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 2 в журналах, входящих в базу цитирования Scopus, получено 2 патента РФ на изобретения и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, состоящего из 298 источников, шести приложений. Диссертация изложена на 142 страницах основного машинописного текста.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** изложена актуальность выбранного направления исследований. Определены цели и задачи, описаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы. Изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** рассмотрены современные тенденции использования мяса птицы для производства широкого ассортимента мясных изделий, проведен анализ основных направлений совершенствования рецептур и технологий рубленых мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности. Обобщен опыт отечественных и зарубежных исследований по применению электрофизических воздействий в пищевой промышленности. Проанализированы существующие решения и перспективы использования электроактивированной воды и ультразвуковой обработки в мясной промышленности.

**Во второй главе** приведена характеристика объектов и методов исследования, представлена схема его организации и проведения (рисунок 1), В качестве объектов исследования выступали: отечественные сухие белоксодержащие продукты – обогатитель пищевых продуктов «Моби-Люкс Универсал» (ООО «Научно-производственная фирма «Мобитек-М», Россия), говяжий коллагеновый белок «VT-Pro» (АО «Верхневолжский Кожевенный завод», Россия); белково-жировые эмульсии,

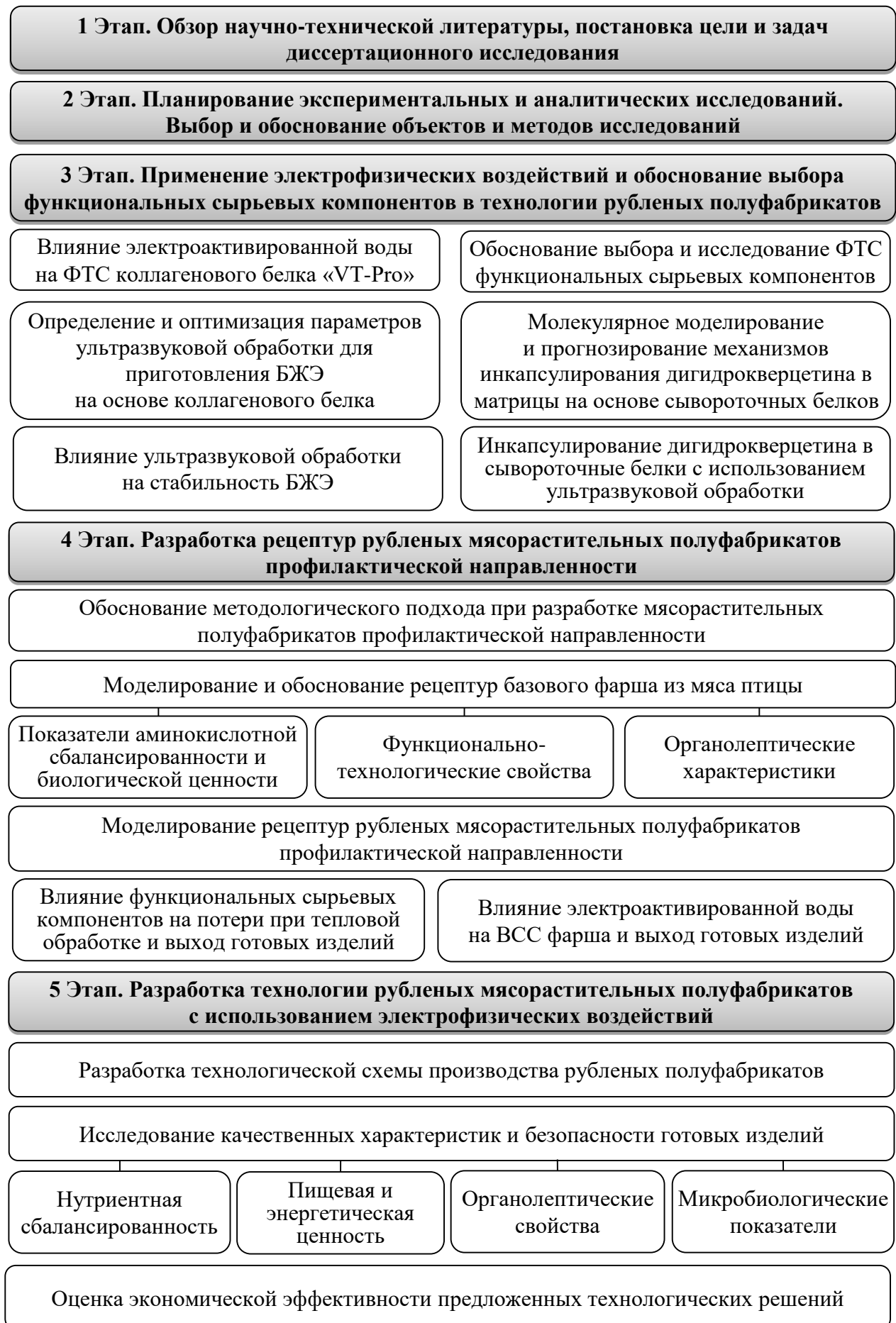


Рисунок 1 – Схема организации и проведения исследований

приготовленные на основе коллагенового белка «VT-Pro» и подсолнечного масла; комплексы сывороточных белков и дигидрокверцетина, сывороточных белков, лецитина и дигидрокверцетина, полученные с использованием ультразвуковой обработки; мясные и мясорастительные фаршевые системы, полученные с использованием электроактивированной воды и ультразвуковой обработки; готовые рубленые мясорастительные полуфабрикаты профилактической направленности.

**В третьей главе** представлены результаты исследований влияния электроактивированной воды и ультразвуковой обработки на ФТС говяжьего коллагенового белка «VT-Pro» и стабильность БЖЭ на его основе, а также результаты моделирования и научного обоснования инкапсулирования дигидрокверцетина (ДГК) в матрицы на основе молочных сывороточных белков с использованием ультразвуковой обработки.

Экспериментальные исследования показали, что при использовании электроактивированной воды (католит, рН 10,8-11,2) взамен питьевой воды (рН 7,0-7,2) степень набухаемости коллагенового белка «VT-Pro» увеличивается в 1,5-1,6 раза, ВПС – на 49,1 % для средней и на 53,7 % для мелкой фракции белка (таблица 1).

Таблица 1 – Функционально-технологические свойства коллагенового белка «VT-Pro»

Наименование показателей	Значение показателей для коллагенового белка*		m <sub>ср</sub>
	Мелкая фракция	Средняя фракция	
Степень набухаемости, %	131,5 / 196,0	93,3 / 153,3	±4,8
ВПС, %	564,3 / 618,0	535,7 / 584,8	±4,2
ЖПС, %	274,3	240,7	±2,9
ВУС, г/г	10,5 / 11,5	9,5 / 10,5	±0,5
ЖЭС, %	78,5	60,8	±3,5
СЭ, %	98,0	94,75	±1,0

\* при использовании питьевой воды / католита

Установлено, что каждый грамм исследуемого коллагенового белка при использовании католита удерживает на один грамм воды больше по сравнению с использованием питьевой воды: ВУС (г/г) повышается с 10,5 до 11,5 для мелкой фракции и с 9,5 до 10,5 для средней фракции белка (таблица 1).

На основе результатов проведенных исследований в технологии рубленых полуфабрикатов рекомендовано использовать среднюю фракцию коллагенового белка «VT-Pro» в гидратированном виде при соотношении белка и католита 1:8, мелкую фракцию – для приготовления БЖЭ.

С использованием разработанной компьютерной программы проведено расчетно-экспериментальное исследование и определена комплектация ультразвукового процессора Hielscher UP400S для приготовления БЖЭ на основе коллагенового белка «VT-Pro» и подсолнечного масла. В качестве концентратора механических колебаний принят сонодрод с диаметром рабочей части 22 мм, обеспечивающий работу ультразвукового процессора с интенсивностью в диапазоне 30-60 Вт/см<sup>2</sup>.

Проведен двухфакторный эксперимент по определению влияния ультразвуковой обработки на жироземмулирующую способность (ЖЭС) коллагенового белка «VT-Pro». Варьируемые параметры: P – относительная мощность ультразвуковой обработки, % от номинальной мощности оборудования (400 Вт); t – время ультразвуковой обработки, мин. Выходными параметрами при проведении эксперимента являлись: ЖЭС коллагенового белка, %; E – количество энергии, передаваемой в систему при ультразвуковой обработке, кДж.

Анализ полученных поверхностей отклика и карт линий уровня показал, что наиболее рациональным режимом ультразвуковой обработки с частотой 24±1 кГц при приготовлении БЖЭ на основе исследуемого коллагенового белка является использование максимального значения относительной мощности (P=100 %) в диапазоне времени 5-6 минут (рисунок 2).

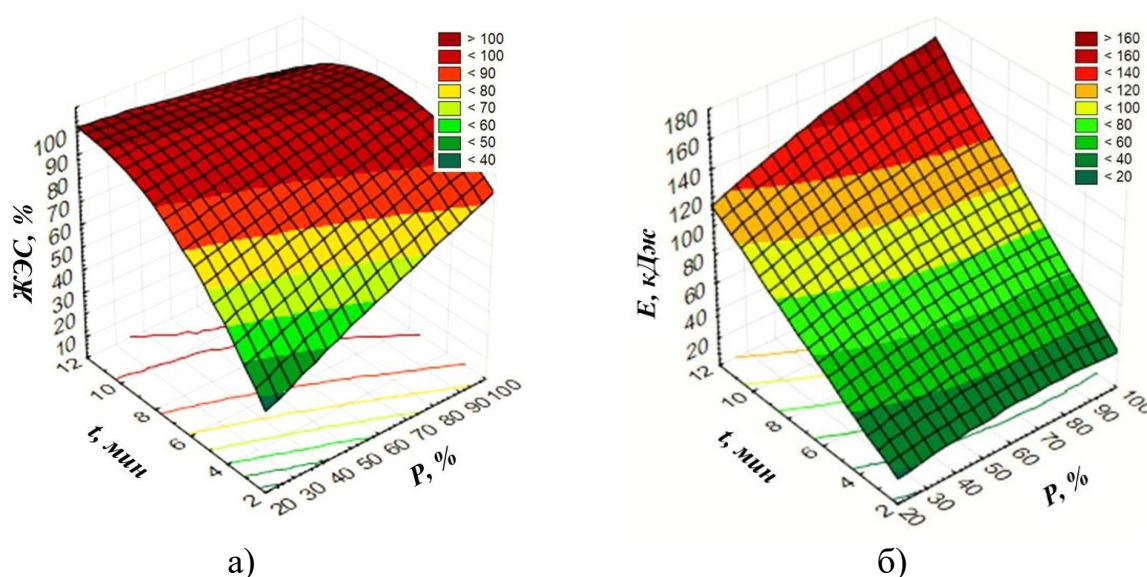


Рисунок 2 – Зависимость ЖЭС коллагенового белка VT-Pro (а) и количества передаваемой в систему энергии при приготовлении БЖЭ (б) от относительной мощности и времени ультразвуковой обработки

Установленный режим соответствует интенсивности ультразвукового воздействия 58-60 Вт/см<sup>2</sup>, удельной мощности – 1100-1140 Вт/дм<sup>3</sup>. При минимальных затратах энергии (66-80 кДж) он позволяет обеспечить максимальный уровень ЖЭС исследуемого коллагенового белка (100%), превышающий в 1,3 раза соответствующее значение (78,5%) при использовании гомогенизатора.

В результате дальнейших экспериментов выявлено, что наибольшую эмульгирующую способность (150 г жира на 1 г белка) коллагеновый белок «VT-Pro» проявляет при использовании ультразвуковой обработки с долей подсолнечного масла в системе равной 60 % (рисунок 3). При такой же концентрации масла его эмульгирующая способность в системе, полученной традиционной гомогенизацией, составляет 66,7 г жира на 1 г белка. В целом, при использовании ультразвуковой

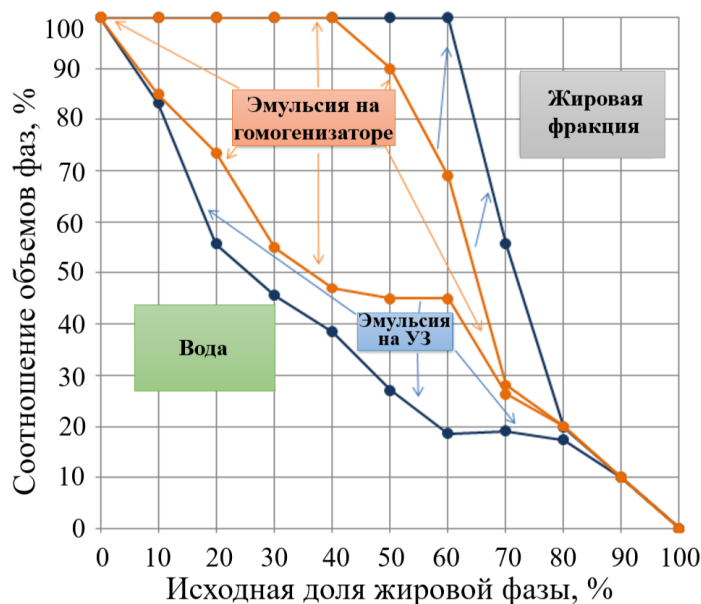


Рисунок 3 – Диаграмма состояния эмульсий, полученных традиционным способом на гомогенизаторе и путем ультразвуковой обработки

С целью использования одного из мощных природных антиоксидантов в разрабатываемых продуктах определены рациональные режимы ультразвуковой обработки для инкапсулирования ДГК в КСБ, а также в двухкомпонентные матрицы из сывороточных белков и лецитина. В результате проведенного компьютерного моделирования (рисунок 4) спрогнозирована возможность и выявлены механизмы взаимодействия молекул  $\beta$ -ЛГ и  $\alpha$ -ЛА с фосфатидилхолином (лецитином, ЛЦ) и дигидрокверцетином. Установлено, что в комплексообразовании двухкомпонентных

обработки объемы БЖЭ наблюдаются в 1,6-3,4 раза большими, чем при традиционном способе.

Результаты проведенных исследований позволили предложить следующее соотношение белок : вода : жир – 1:14:14 (вместо рекомендуемого производителем 1:10:10 для традиционной технологии). Показатель стабильности эмульсии опытных образцов, приготовленных в соответствии с данными рекомендациями, составляет 100 %.

матриц и молекул дигидрокверцетина основную роль играют водородные связи, устойчивость которых повышается за счет гидрофобных взаимодействий между молекулой ЛЦ и поверхностью молекулы  $\beta$ -ЛГ.

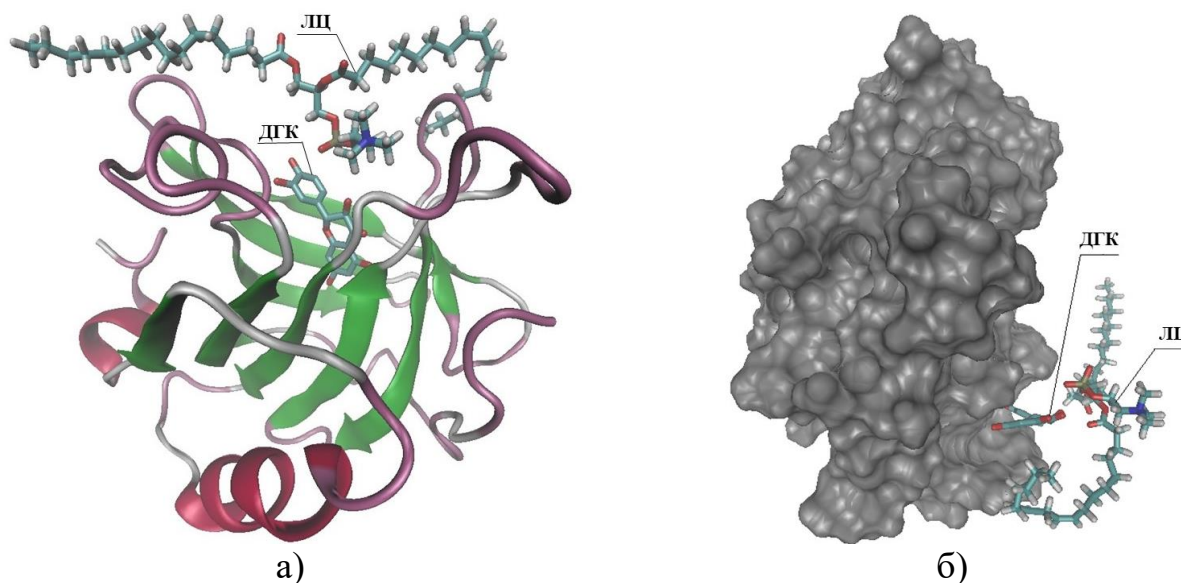


Рисунок 4 – Результаты компьютерного моделирования: а) молекулярная система  $\beta$ -ЛГ – ДГК – ЛЦ; б) поверхность молекулы  $\alpha$ -ЛА при взаимодействии с молекулами ДГК и ЛЦ

В результате экспериментов установлено, что наибольшую степень инкапсуляции дигидрокверцетина в сывороточные белки обеспечивает ультразвуковая обработка при максимальной относительной мощности процессора Hielscher UP400S и использовании сонотродов с диаметром рабочей части 14 мм (Н14) и 22 мм (Н22). Также установлено количество лецитина (0,1% от массы КСБ), которое обеспечивает наибольший уровень взаимодействия дигидрокверцетина с сывороточными белками и отсутствие присущей полифенолу горечи.

По данным спектрофотометрического анализа максимальную эффективность инкапсуляции ДГК (81,2 %) удастся добиться при использовании чистого КСБ и сонотрода Н14 (интенсивность ультразвуковой обработки 114-116 Вт/см<sup>2</sup>, удельная мощность 1755-1785 Вт/дм<sup>3</sup>). В двухкомпонентной матрице с добавлением лецитина максимальная эффективность инкапсуляции составляет 70,54 % (рисунок 5).

Согласно полученным данным при увеличении времени ультразвуковой обработки с 5 до 15 минут наблюдается значительное повышение эффективности инкапсуляции ДГК вне зависимости от используемого сонотрода и состава матрицы. Дальнейшая обработка длительностью до 20 минут не приводит к существенным изменениям.

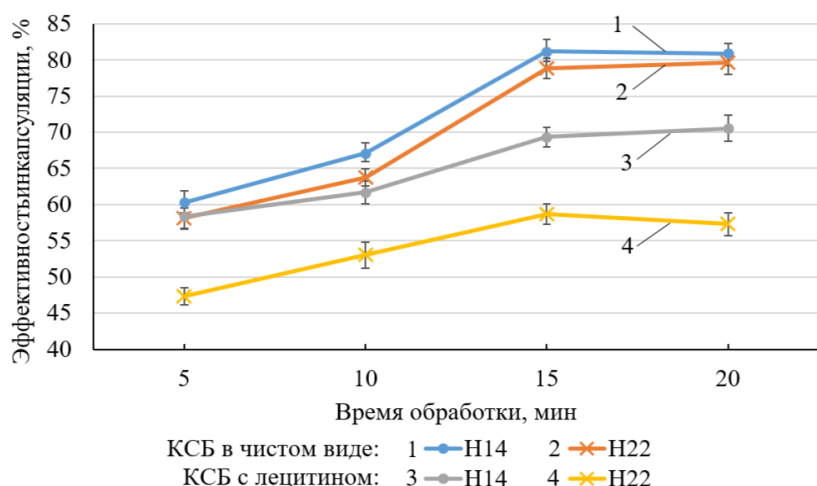


Рисунок 5 – Эффективность инкапсуляции дигидрокверцетина в сывороточные белки с использованием ультразвуковой обработки (соноотроды Н14 и Н22)

Результаты экспериментальных исследований показали, что горький вкус ДГК эффективно маскируется во всех образцах КСБ с ультразвуковой обработкой, проводимой в течение 15 мин, средний диаметр частиц уменьшается примерно в 1,4 раза, а антиоксидантная активность инкапсулированного ДГК значительно снижается. При этом максимальный защитный эффект (снижение антиоксидантной активности с 25,86 до 2,24 мкмоль/г сухого вещества в единицах ТЕАС) наблюдается при использовании чистого КСБ и соноатода Н14.

На основании проведенных исследований сделан вывод о том, что для инкапсулирования дигидрокверцетина в сывороточные белки наиболее рациональным является режим ультразвуковой обработки при частоте  $24 \pm 1$  кГц: интенсивность 114-116 Вт/см<sup>2</sup>, удельная мощность 1755-1785 Вт/дм<sup>3</sup>, продолжительность 15 минут.

В четвертой главе представлены результаты разработки рецептур и технологий рубленых мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности с использованием электрофизических воздействий.

В соответствии с предложенным методологическим подходом на первом этапе проведено моделирование рецептур базовых фаршей из мяса птицы. С учетом результатов анализа химического состава и пищевой ценности мясного сырья в рецептуры базового фарша из мяса уток введен коллагеновый белок «VT-Pro» средней фракции в интервале от 1 до 4 %. Для гидратации белка использован католит (рН 10,8-11,2) при модуле гидратации 1:8 (таблица 2).

Таблица 2 – Рецептуры базового фарша из мяса утки

Наименование сырья	Содержание, г.							
	Рецептура №1		Рецептура №2		Рецептура №3		Рецептура №4	
Мясо утки (филе)	76	89	69	80	61	71	53	62
МПМО	13		11		10		9	

Продолжение таблицы 2

Белок «VT-Pro»	1	9	2	18	3	27	4	36
Вода	8		16		24		32	
Соль	2	2	2	2	2	2	2	2
Итого	100							

В рецептуры фарша из мяса кур введена БЖЭ на основе мелкой фракции коллагенового белка и подсолнечного масла, полученная с использованием предложенных режимов ультразвуковой обработки и соотношении белок-жир-вода 1:14:14. Введение в рецептуры базового фарша БЖЭ проведено в интервале от 15 % до 35 % (таблица 3).

Таблица 3 – Рецептуры базового фарша из мяса кур

Наименование сырья	Содержание, г.									
	Рецептура №1		Рецептура №2		Рецептура №3		Рецептура №4		Рецептура №5	
Мясо кур (филе цыплят-бройлеров)	70	83	66	78	62	73	58	68	54	63
МПО	13		12		11		10		9	
БЖЭ	15	15	20	20	25	25	30	30	35	35
Соль	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Итого	100									

Комбинирование мяса утки или белого мяса кур с мясом кур механической обвалки, а также с гидратированным коллагеновым белком «VT-Pro» или БЖЭ на его основе в установленных соотношениях с применением электрофизических воздействий позволило получить базовые фарши с требуемыми качественными характеристиками, которые послужили мясной основой для мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности при сниженной себестоимости. Критериями выбора наиболее рациональных рецептов базовых фаршей являлись показатели их сбалансированности по незаменимым аминокислотам, структурно-механические и органолептические свойства.

Анализ показателей аминокислотной сбалансированности базового фарша из мяса утки показал, что наибольшие значения обобщенного критерия желательности 0,769 и 0,792 имеют рецептуры №2 и №3, а значение данного критерия для контроля (без коллагенового белка) в 1,6-1,7 раза ниже (таблица 4). Базовый фарш по рецептуре №3 имеет наиболее близкое к оптимальному значение показателя КРАС (в 6,7 раза меньше, чем для контроля), а также самое высокое значение биологической ценности (на 11,2 % выше по отношению к контролю).

Таблица 4 – Показатели аминокислотной сбалансированности базового фарша из мяса утки

Дополнительные параметры	Значения				
	Рецептуры базового фарша с коллагеновым белком				
	Контроль	№1	№2	№3	№4
Общий критерий желательности, доля ед.	0,478	0,640	0,769	0,792	0,675
Коэффициент утилитарности, доля ед.	0,845	0,835	0,823	0,811	0,797
Коэффициент сопоставимой избыточности, г/100г белка	6,353	6,509	6,675	6,781	6,896
Индекс незаменимых аминокислот (ИНАК), доля ед.	1,128	1,080	1,029	0,975	0,916
Коэффициент различия аминокислотного сгора (КРАС), %	13,3	8,5	3,4	2,0	7,8
Биологическая ценность белка, %	86,8	91,5	96,6	98,0	92,2

Установлено, что при введении в рецептуру базового фарша из мяса уток коллагенового белка «VT-Pro» и увеличении его количества вплоть до 4 % повышается массовая доля влаги в фаршевой системе (на 0,90-4,38 % за счет увеличения количества воды на гидратацию белка), увеличивается значение показателя пластичности (в 1,15-1,23 раза) и глубина пенетрации (в 1,1-1,5 раза). Значение показателя ПНС по отношению к контролю при увеличении массовой доли коллагенового белка снижается в 1,2-2,3 раза (таблица 5).

Таблица 5 – Результаты оценки структурно-механических свойств и массовой доли влаги базового фарша из мяса утки

Показатель	Контроль	№1	№2	№3	№4	m <sub>ср</sub>
Массовая доля влаги, %	74,94	75,84	76,63	78,44	79,32	±1,72
Пластичность, см <sup>2</sup>	5,45	6,38	6,59	6,65	6,69	±0,17
Глубина пенетрации, мм	8,6	9,3	10,4	12,3	13,1	±0,35
ПНС сырого фарша, Па	1257,2	1075,1	859,67	614,6	541,8	±21,1

Анализ показателей аминокислотной сбалансированности базового фарша из мяса кур показал, что с увеличением массовой доли БЖЭ повышается значение обобщенного критерия желательности аминокислотного состава (с 0,186 до 0,320). Значение данного критерия для контроля в 1,5-2,5 раза ниже (таблица 6).

Таблица 6 – Показатели аминокислотной сбалансированности базового фарша из мяса кур

Дополнительные параметры	Значения					
	Конт-роль	Рецептуры базового фарша с БЖЭ				
		№1	№2	№3	№4	№5
Коэффициент утилитарности, доля ед.	0,808	0,812	0,813	0,815	0,817	0,818
Коэффициент сопоставимой избыточности, г/100г белка	8,068	7,768	7,653	7,525	7,371	7,219
Индекс незаменимых аминокислот (ИНАК), доля ед.	1,169	1,146	1,137	1,126	1,114	1,102

Продолжение таблицы 6

Коэффициент различия аминокислотного сора (КРАС), %	18,4	16,0	15,0	14,0	12,7	11,5
Биологическая ценность белка, %	81,6	84,0	85,0	86,0	87,3	88,5

Установлено, что при введении в рецептуру базового фарша из мяса кур БЖЭ на основе коллагенового белка и увеличении ее количества вплоть до 35 % снижается массовая доля влаги в фаршевой системе (на 3,98-8,56 %). При этом значения показателей пластичности и глубины пенетрации незначительно снижаются (не более чем в 1,16 раза), а значение показателя ПНС повышается в 1,1–1,3 раза (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты оценки структурно-механических свойств и массовой доли влаги базового фарша из мяса кур

Показатель	Контроль	№1	№2	№3	№4	№5	m <sub>ср</sub>
Массовая доля влаги, %	72,85	68,87	67,46	66,55	65,39	64,29	±2,46
Пластичность, см <sup>2</sup>	5,70	5,53	5,37	5,22	5,12	4,93	±0,19
Глубина пенетрации, мм	9,27	8,8	8,69	8,56	8,42	8,23	±0,24
ПНС сырого фарша, Па	1082,03	1200,69	1231,28	1268,97	1311,52	1372,77	±48,87

Для анализа органолептических свойств изделий, получаемых на основе базовых фаршей из мяса птицы, проведено формование и доведение модельных полуфабрикатов до кулинарной готовности. Установлено, что по совокупности исследованных характеристик аминокислотной сбалансированности, структурно-механических и органолептических свойств наиболее рациональными являются рецептура №3 базового фарша из мяса утки и рецептура № 4 базового фарша из мяса кур.

Использование в качестве мясной основы предложенных рецептов базового фарша позволяет гибко проводить цифровое моделирование состава мясорастительных полуфабрикатов без значительного изменения уровня их биологической и пищевой ценности за счет введения дополнительных пищевых ингредиентов, придающих готовой продукции целевые профилактические свойства. Проведен выбор и обоснование следующих видов таких ингредиентов. Обоганитель пищевых продуктов «Моби-Люкс Универсал» в виде сухого порошка, содержащий очищенный гемоглобин крови сельскохозяйственных животных, белки молочной сыворотки, в том числе в йодированном виде, кальциевый обоганитель и пищевые волокна. Меласса молочная сухая с лактулозой «ЛактуВет-1», содержащая не менее 14,3 % лактулозы, 25,2 % лактозы и 15 % минеральных веществ молока. Для обеспечения готовых изделий антиоксидантными свойствами в их рецептуру введен

КСБ с инкапсулированным дигидрокверцетином в виде сухого порошка (КСБ 55 с ДГК), полученный с использованием предложенных режимов ультразвуковой обработки.

На основе результатов компьютерного моделирования и анализа пищевой ценности мясорастительных полуфабрикатов, определения потерь при их тепловой обработке и органолептической оценки установлено наиболее рациональное количество мелассы молочной сухой с лактулозой «ЛактуВет-1» и пищевого обогатителя «Моби-Люкс Универсал» (таблица 8).

Таблица 8 – Рецептуры мясорастительных полуфабрикатов

Наименование ингредиентов		Рецептуры мясорастительных полуфабрикатов					
		из мяса утки			из мяса кур		
		основная	профилактической направленности с включением в состав		основная	профилактической направленности с включением в состав	
			«Моби-Люкс Универсал»	«Лакту-Вет-1»		КСБ 55 с ДГК	«Лакту-Вет-1»
№1	№2	№3	№4	№5	№6		
Сырье и материалы, кг/ 100 кг	Базовый фарш из мяса птицы	52,00			50,0		
	Морковь	12,0	8,0	9,0	–	-	-
	Морковный порошок	–	–	–	5,0	4,0	4,0
	Капуста белокочанная	8,0	5,0	6,0	7,0	7,0	5,0
	Перец сладкий	8,0	5,0	7,0	5,0	5,0	4,0
	Крупа манная	5,0	5,0	6,0	5,0	5,0	5,0
	Моби-Люкс Универсал	–	6,0	–	–	–	–
	КСБ 55 с ДГК	–	–	–	–	1,0	–
	ЛактуВет-1	–	–	4,0	–	–	4,0
	Яичный порошок	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	Соевое масло	2,0	2,0	2,0	–	–	–
	Сухари панировочные	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	Отруби пшеничные	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	Вода (католит, рН 10,8-11,2)	До 100,0			–	–	–
	Вода питьевая	-			До 100,0		
	Соль поваренная пищевая	0,2			0,2		
Перец черный молотый	0,1			0,1			

Количество вводимого в состав рецептур КСБ 55 с ДГК обосновано целесообразным уровнем содержания данного полифенола в готовом изделии (в 100 граммах не более 30 % от рекомендуемого суточного потребления).

Разработана технология мясорастительных полуфабрикатов с использованием электрофизических воздействий (рисунок 6).

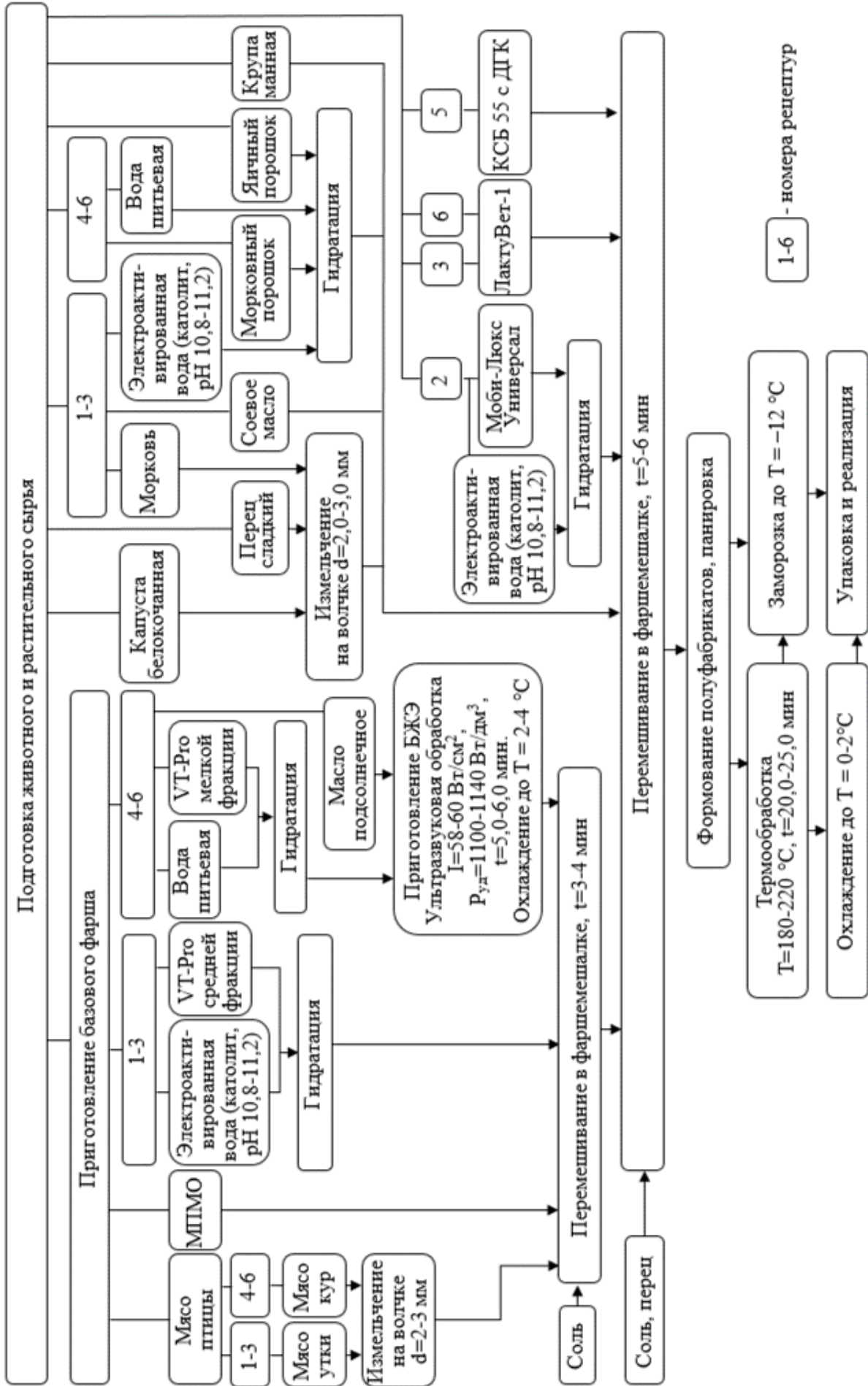


Рисунок 6 – Технологическая схема производства мясорастительных полуфабрикатов

Целенаправленное комбинирование мясного, растительного сырья и ингредиентов профилактической направленности позволило разработать полуфабрикаты с высокой биологической ценностью (88,9-99,7 %) и усвояемостью (коэффициент утилитарности 0,841-0,876, сопоставимой избыточности 4,498-6,263 г/100г белка). Значения обобщенного критерия желательности изделий по аминокислотному составу соответствуют оценкам «хорошо» и «отлично» по шкале желательности Харрингтона (0,710-0,956). Энергетическая ценность полуфабрикатов составляет 174,9-185,3 ккал, из которых 21,7-27,4 % обеспечивает белок (таблица 9). По ТР ТС 022/2011 это позволяет отнести изделия к продуктам с высоким содержанием белка.

Таблица 9 – Показатели нутриентной сбалансированности, пищевой и энергетической ценности мясорастительных полуфабрикатов

Наименование показателей	Значение показателей для рецептов					
	из мяса утки			из мяса кур		
	основная	«Моби-Люкс Универсал»	«Лакту Вет-1»	основная	КСБ 55 с ДГК	«Лакту Вет-1»
		№1	№2		№3	№4
Массовая доля белка, г/100 г продукта	10,6 ±0,6	12,7 ±0,7	10,2 ±0,5	10,2 ±0,4	10,6 ±0,7	10,0 ±0,5
Массовая доля жира, г/100 г продукта	11,7 ±0,7	12,1 ±0,8	11,2 ±0,6	11,2 ±0,7	11,3 ±0,5	11,2 ±0,6
НЖК, г/100 г липидов	25,1	24,8	25,1	15,8	15,6	15,8
ПНЖК, г/100 г липидов	25,7	25,4	25,7	45,3	44,9	45,3
МНЖК, г/100 г липидов	37,1	36,9	37,1	30,4	30,1	30,4
Пищевые волокна, г/100г продукта	1,8	3,1	1,7	2,0	1,9	1,9
Дигидрокверцетин, мг/100 г (не менее)	–	–	–	–	7,0	–
Лактоза, г/100 г (не менее)	–	1,25	1,00	–	0,20	1,00
Лактулоза, г/100 г (не менее)	–	–	0,57	–	–	0,57
Энергетическая ценность, кДж/ккал	732,3/ 174,9	775,8/ 185,3	744,4/ 177,8	745,6/ 178,0	744,3/ 177,7	772,0/ 184,3

За счет использования растительных масел в рецептурах рубленых полуфабрикатов скорректировано соотношение между насыщенными и ненасыщенными жирными кислотами в сторону увеличения массовой доли ПНЖК и МНЖК (таблица 9). В соответствии с ТР ТС 022/2011 мясорастительные полуфабрикаты являются источником пищевых волокон (рецептура 2), микро- и макроэлементов и витаминов, а именно: кальция (рецептуры №2, №3 и №6), фосфора (рецептуры №3-6), йода (рецептура №2), железа и витамина Е (рецептуры №4-6),

витамина А (рецептуры №1, №3-6) и витамина В<sub>12</sub> (рецептура №2). Все готовые изделия содержат большинство витаминов группы В, витамин С и витамины D, E, макроэлементы калий, магний и микроэлементы железо и цинк. Изделия с мелассой молочной сухой с лактулозой «ЛактуВет-1» (рецептуры №3 и №6) содержат в своем составе не менее 28,6 % от рекомендуемого суточного потребления пребиотика лактулозы. Готовые изделия, вырабатываемые по рецептуре №5, содержат не менее 7,0 мг дигидрокверцетина, что соответствует 28 % от рекомендуемого суточного потребления данного полифенола.

По результатам органолептического анализа готовые мясорастительные полуфабрикаты получили общую оценку в диапазоне 4,78-4,93 балла. Результаты исследования микробиологических показателей не выявили превышения допустимых значений и отклонений от требований ТР ТС 051/2021, ТР ТС 021/2011. Экономический эффект от внедрения в производство предложенных технологических решений составляет от 25,81 до 69,82 тыс. руб. на тонну продукции за счет снижения себестоимости в среднем на 11-12 %.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Полученные результаты исследований позволили сделать следующие основные выводы и рекомендации.

1. Проведен анализ научно-технических источников информации, определены и обоснованы основные направления совершенствования технологии рубленых мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности с использованием электроактивированной воды и ультразвуковой обработки.

2. Установлено, что электроактивированная вода (католит, рН 10,8-11,2) позволяет повысить степень набухаемости говяжьего коллагенового белка «VT-Pro» в 1,5-1,6 раза, его ВПС на 49,1-53,7 % и ВУС (г/г) с 10,5 до 11,5 для мелкой фракции и с 9,5 до 10,5 для его средней фракции соответственно.

3. Определены и рекомендованы рациональные параметры ультразвуковой обработки для приготовления БЖЭ на основе коллагенового белка «VT-Pro» и подсолнечного масла при частоте  $24 \pm 1$  кГц: интенсивность 58-60 Вт/см<sup>2</sup>, удельная мощность 1100-1140 Вт/дм<sup>3</sup>, длительность 5-6 минут. Экспериментально

подтверждено, что ультразвуковая обработка позволяет повысить ЖЭС коллагенового белка в 1,3 раза и обеспечить максимальный уровень стабильности эмульсии (100 %) при изменении соотношения белок : вода : жир с 1:10:10 (рекомендация производителя) до 1:14:14.

4. На основе результатов молекулярного моделирования и экспериментальных исследований установлен рациональный режим ультразвуковой обработки для инкапсулирования дигидрокверцетина в сывороточные белки при частоте  $24 \pm 1$  кГц: интенсивность 114-116 Вт/см<sup>2</sup>, удельная мощность 1755-1785 Вт/дм<sup>3</sup>, продолжительность 15 минут.

5. Проведено компьютерное моделирование рецептов, определены и обоснованы показатели биологической ценности, аминокислотной сбалансированности, структурно-механические и органолептические свойства базовых фаршей из мяса птицы. Установлено наиболее рациональное содержание в фаршевых системах коллагенового белка «VT-Pro» (3 % при гидратации католитом 1:8) и БЖЭ на его основе (30 %), полученной с использованием ультразвуковой обработки.

6. Разработаны рецептуры и технология рубленых мясорастительных полуфабрикатов профилактической направленности из мяса птицы с использованием электрофизических воздействий (ТУ 10.13.14-002-70438614-2025). Предложенные технологические решения прошли положительную апробацию в производственных условиях.

7. Проведены исследования, подтверждающие высокий уровень качественных характеристик и безопасности рубленых мясорастительных полуфабрикатов. Экономический эффект от внедрения в производство предложенных технологических решений составляет от 25,81 до 69,82 тыс. руб. на тонну продукции.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в расширении направлений использования электроактивированной воды и ультразвуковой обработки для создания других видов высокостабильных белково-жировых эмульсий и получения белковых ингредиентов профилактической направленности, их применении в технологии мясопродуктов.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

### Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. Савченко, А.А. Мясопродукты для рынка «Фуднет» / А.А. Савченко, А.А. Борисенко, Л.А. Борисенко, А.А. Борисенко, **В.Г. Разинькова**, Е.Д. Трунова // Современная наука и инновации. – 2021. – № 4. – С. 119-129.

2. Савченко, А.А. Разработка новых видов функциональных мясорастительных полуфабрикатов с пребиотическим действием / А.А. Савченко, А.А. Борисенко, Л.А. Борисенко, А.А. Борисенко, **В.Г. Разинькова**, А.В. Рудковский, Г.С. Анисимов, А.Г. Храмцов // Современная наука и инновации. – 2022. – №3 (39). С. 119-127.

3. **Разинькова, В.Г.** Использование ультразвуковой обработки для приготовления белково-жировых эмульсий на основе говяжьего коллагенового белка / **В.Г. Разинькова**, Е.Г. Гресева, А.А. Борисенко, Л.И. Барыбина, Е.В. Белоусова // Индустрия питания. – 2025. – № 2. – С. 5-14.

### Статьи в международных научных изданиях, индексируемых в Scopus:

4. Borisenko, A. Development of New Types of Minced Meat Products for Preventive and Personalized Nutrition / A. Borisenko, A. Savchenko, A. Borisenko, E. Belousova, **V. Razinkova** // Lecture Notes in Networks and Systems. – Cham : Springer International Publishing, 2022. – Vol. 408. – P. 18-27.

5. Borisenko, A. Expanding the range of fortified meat products through the targeted combination of raw materials of animal and vegetable origin / A. Borisenko, Y. Uzakov, E. Greseva, **V. Razinkova**, A. Borisenko // Potravinarstvo. – 2024. – Vol. 18. – P. 683-696.

### Статьи в журналах и сборниках материалов конференций:

6. **Разинькова, В.Г.** Оценка способов получения и использования водожировых эмульсий при производстве мясных изделий / В.Г. Разинькова, А.Б. Гордеева // Материалы ежегодной Всероссийской (национальной) конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективные разработки молодых ученых в области производства и переработки сельскохозяйственной продукции». – Ставрополь: СКФУ. – 2019. – С. 256-262.

7. **Разинькова, В.Г.** Современные методы получения стабильных эмульсий в технологии производства мясопродуктов / В.Г. Разинькова, А.Б. Гордеева, А.А. Брачихин // Материалы VII (64-й) ежегодной НПК «Университетская наука – региону». Биоразнообразие, биоресурсы, вопросы биотехнологии и здоровье населения Северо-Кавказского региона. – Ставрополь: СКФУ. – 2019. – С. 159-167.

8. **Разинькова, В.Г.** Зарубежный опыт и перспективы использования ультразвуковой обработки в пищевой промышленности / В.Г. Разинькова, А.Б. Гордеева, А.А. Борисенко [и др.] // Материалы Международной НПК «Инновационное развитие аграрно-пищевых технологий». – Волгоград. – 2021. – С. 217.

9. Савченко, А.А. Нутриентнобалансированные мясорастительные продукты с молочной мелассой / А.А. Савченко, А.А. Борисенко, Л.А. Борисенко, А.А. Борисенко, **В.Г. Разинькова** [и др.] // Материалы XXII международной НПК «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств». – Барнаул: АлтГТУ. – 2022. – С. 207.

10. Борисенко, А.А. Разработка рецептур продуктов питания с высокой пищевой и биологической ценностью / А.А. Борисенко, Э.Э. Абадлаева, Е.Г. Гресева, А.А. Борисенко, Л.А. Борисенко, А.А. Савченко, **В.Г. Разинькова** [и др.] // Материалы X (67-й) ежегодной НПК «Университетская наука – региону». Биоразнообразие, биоресурсы, вопросы биотехнологии и здоровье населения северо-кавказского региона. – Ставрополь: СКФУ. – 2023. – С. 92-94.

11. **Разинькова, В.Г.** Повышение функционально-технологических свойств отечественных коллагеновых белков за счет электрохимической активации воды и ультразвуковой обработки / **В.Г. Разинькова** // Материалы XIV Евразийского экономического форума молодежи. – Екатеринбург: УрГЭУ. – 2024. – С. 20-22.

12. Борисенко, А. А. Расширение ассортимента функциональных мясопродуктов для рынка здорового питания / А.А. Борисенко, Е.Г. Гресева, **В.Г. Разинькова** [и др.] // Материалы XI (68-й) ежегодной НПК «Университетская наука – региону». Биоразнообразие, биоресурсы, вопросы биотехнологии и здоровье населения Северо-Кавказского региона. – Ставрополь: СКФУ, 2024. – С. 176-181.

13. Борисенко, А.А. Молекулярное моделирование в решении задач обеспечения эффективной инкапсуляции полифенолов в сывороточные белки / А.А. Борисенко, **В.Г. Разинькова**, Е.Г. Гресева [и др.] // Материалы IX Международной НПК «Современные достижения биотехнологии. Фундаментальные и прикладные аспекты». – Ставрополь: СКФУ, 2024. – 453 с.

14. Гресева, Е. Г. Разработка мясных изделий для здорового питания с использованием продуктов глубокой переработки молочной сыворотки / Е.Г. Гресева, **В.Г. Разинькова**, А.А. Борисенко [и др.] // Материалы Международной НПК «Научно-практическое развитие АПК и производства продуктов здорового питания». – Омск: Омский ГАУ, 2025. – С. 213-217.

#### **Патенты и свидетельства:**

15. Патент №2757319 РФ, Полуфабрикат мясорастительный рубленый функциональный обогащенный: МПК А23L 13/50, А23L 13/40, А23L 13/60 / А.А. Борисенко, А.А. Брацихин, Л.А. Сарычева, А.А. Борисенко, А.А. Савченко, Д.С. Мамай, **В.Г. Разинькова** [и др.]; заявитель СКФУ; опубл. 13.10.2021. – 11 с.

16. Патент №2774419 РФ, Полуфабрикат мясорастительный рубленый функциональный с пребиотическим действием: МПК А23L 13/50, А23L 13/40, А23L 13/60 / А.А. Борисенко, А.А. Савченко, А.А. Борисенко, А.Г. Храмцов, Л.А. Сарычева, Д.С. Мамай, **В.Г. Разинькова** [и др.]; заявитель СКФУ; опубл. 21.06.2022. – 12 с.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025610581 РФ Программа для получения высокостабильных пищевых эмульсий с использованием ультразвуковой обработки : опубликовано 13.01.2025 / **В.Г. Разинькова**, А.А. Борисенко, Е.Г. Гресева [и др.]; правообладатель ООО «Нанозлектробиотехнологии» (RU). – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.

### **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

БЖЭ – белково-жировая эмульсия	МНЖК – мононенасыщенные жирные кислоты
ВПС – водопоглощающая способность	МПМО – мясо птиц механической обвалки
ВСС – влагосвязывающая способность	НЖК – насыщенные жирные кислоты
ВУС – водоудерживающая способность	ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты
ДГК – дигидрокверцетин	ПНС – предельное напряжение сдвига
ЖПС – жиропоглощающая способность	СЭ – стабильность эмульсии
ЖЭС – жирозэмульгирующая способность	ФТС – функционально-технологические свойства
ИНАК – индекс незаменимых аминокислот	$\alpha$ -ЛА – $\alpha$ -лактальбумин
КРАС – коэффициент различия аминокислотного сора	$\beta$ -ЛГ – $\beta$ -лактоглобулин
КСБ – концентрат сывороточных белков	
ЛЦ – лецитин	