

На правах рукописи



Бикбулатов Павел Станиславович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И РЕЦЕПТУР
АНАЛОГОВ МЯСНЫХ РУБЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВЫХ
ГИДРОЛИЗАТОВ**

4.3.3. Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2026

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

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

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Курбанова Марина Геннадьевна (Россия),
заведующий кафедрой технологии продуктов
питания животного происхождения
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный
университет»

кандидат ветеринарных наук, доцент
Меренкова Светлана Павловна (Россия),
доцент кафедры пищевых и биотехнологий
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный
университет (национальный исследовательский
университет)»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Защита диссертации состоится 26 сентября 2026 г. в 10:00 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 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. В настоящее время особое внимание уделяется растительным источникам белка, так как, согласно данным ВОЗ, примерно треть мирового населения испытывает дефицит полноценного пищевого белка. Ежегодно в промышленности используют около 110–115 млн т растительного сырья, для эффективного использования которого требуются технологии, предусматривающие комплексный подход к получению белковых ингредиентов.

В современных условиях роста осознанного потребления и перехода к устойчивым моделям питания все более востребованными становятся растительные аналоги мясных продуктов, сочетающие высокую пищевую ценность, экологичность и доступность. Однако создание полноценных аналогов мясных рубленых полуфабрикатов, сопоставимых по органолептическим, структурно-механическим и функциональным свойствам, остается сложной технологической задачей.

Стратегия государства направлена на обеспечение продовольственной безопасности и эффективное использование ресурсов, включая доступное отечественное сырье и последующее применение продуктов их переработки. В связи с этим применение гороха зеленого полевого (*Pisum arvense* L.) – традиционной для России белковой культуры с высокой агроэкологической адаптивностью, и подсолнечного шрота – побочного продукта масложирового производства, позволяет не только решить задачу импортозамещения белковых ингредиентов, но и сократить продовольственные потери и повысить ресурсоэффективность отрасли. Создание технологий переработки подобного сырья в функциональные белковые гидролизаты соответствует принципам циркулярной экономики и устойчивого развития, сокращая объемы отходов и снижая нагрузку на окружающую среду.

Таким образом, разработка рецептур и технологии растительных аналогов мясных рубленых полуфабрикатов на основе гидролизатов белка гороха и подсолнечного шрота отвечает не только трендам здорового питания и запросам флекситарианцев, спортсменов и ЗОЖ-аудитории, но и стратегическим задачам развития отечественной пищевой промышленности в условиях санкционных ограничений и растущего рынка альтернативных белковых продуктов.

Степень разработанности темы исследования. Исследования в области глубокой переработки растительного сырья и получения белковых гидролизатов, концентратов и изолятов отражены в работах таких российских и зарубежных авторов, как И. М. Чернуха, В. Л. Кудряшов, Л. В. Антипова, М. Г. Курбанова, О. Я. Мезенова, Н. С. Родионова, А. А. Красноштанова, Е. В. Костылева, Д. В. Зенкова, Е. А. Бычкова, А. Amin, С. Bennetau-Pelissero, A. García, A. J. Hernández-Álvarez, G. Karabulut, R. Kaur, Y. Lao, C. Pickardt и др. Большой вклад в развитие теоретических и практических основ получения мясо-растительных продуктов и полных аналогов внесли А. А. Сафаров,

Н. Н. Попова, А. А. Борисенко, И. Ю. Потороко, С. П. Меренкова, В. Г. Попов, Г. И. Кобилова, Н. Н. Забашта, В. Г. Кулаков, J.-M. Chardigny, R. El Sadig, S. Velemir, L. Herreman, Y. Malila, M. Mazumder и др.

Целью диссертационной работы является разработка рецептур и технологии аналогов мясных рубленых изделий на основе растительных белковых гидролизатов с заданными функционально-технологическими, органолептическими свойствами и пищевой ценностью.

Для достижения цели исследования необходимо решить следующие **задачи**:

- провести анализ научно-технических и патентных источников информации, обосновать возможность применения полученных ферментативным методом гидролизатов растительного белка в технологии аналогов мясных рубленых изделий;
- определить научно обоснованные технологические параметры ферментативного гидролиза растительного сырья с целью получения гидролизатов с заданными функционально-технологическими и органолептическими свойствами;
- провести оценку качества, безопасности гидролизатов растительного белка и биоактивных свойств их пептидов с использованием метода *in silico*;
- на основе исследования потребительского спроса и методов математического моделирования разработать оптимизированные рецептуры аналогов мясных рубленых изделий с использованием гидролизатов растительного белка;
- провести оценку качества разработанных аналогов мясных рубленых изделий, установить сроки годности, регламентируемые показатели качества и оценить их экономическую эффективность.

Научная новизна. Работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 11, 13, 29 паспорта специальности ВАК при Минобрнауки России 4.3.3. Пищевые системы (технические науки):

1. Научно обоснованы и экспериментально подтверждены технологические параметры комбинированного ферментативного гидролиза растительного сырья (зерна гороха сорта «Самариус» и подсолнечного шрота) с использованием протеазы «Протозим Н» (1,5 %), амилазы (0,5 мл/кг), целлюлазы (1,0 %) и лактата кальция (0,5 %), обеспечивающие степень гидролиза белков до 45–55 % и получение гидролизатов с содержанием белка 70,5 % (горох) и 68,9 % (подсолнечный шрот) и улучшенными функционально-технологическими свойствами (п. 13).

2. Установлены закономерности влияния гидролизатов растительного белка на формирование физико-химических, структурно-механических и органолептических показателей аналогов мясных рубленых изделий. Доказано, что внесение гидролизата горохового белка в пищевую матрицу обеспечивает повышение влагоудерживающей способности до 75,4 %, жиरोудерживающей способности до 80,8 %, снижение потерь при тепловой обработке и позволяет получить продукт с содержанием белка не менее 22,7 % и сба-

лансированным аминокислотным профилем (скор метионин + цистеин – 86,9–89,1 %) (п. 11).

3. На основе методов математического моделирования разработаны рецептуры аналогов мясных рубленых изделий с использованием гидролизатов растительного белка, обеспечивающие заданные показатели качества (содержание белка $\geq 16\%$, жира $\leq 18\%$, потери при тепловой обработке $\leq 19\%$) при снижении затрат на сырье на 4 % по сравнению с традиционными рецептурами (п. 29).

Новизна технических решений подтверждена свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Положения, выносимые на защиту:

- научно обоснованные технологические параметры ферментативного гидролиза зерна гороха и подсолнечного шрота, позволяющие получать белковые гидролизаты с содержанием белка до 85 % и улучшенными функционально-технологическими свойствами;

- экспериментально установленные закономерности влияния гидролизатов растительного белка (горохового – до 19,8 %, подсолнечного – до 22,2 %) на физико-химические, структурно-механические и органолептические показатели аналогов мясных рубленых изделий;

- рецептурно-технологические решения по созданию растительных аналогов мясных рубленых изделий с использованием гидролизатов растительного белка, оптимизированные методом математического моделирования.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость заключается в применении научно обоснованного подхода к разработке аналогов мясных рубленых изделий на основе гидролизатов растительного белка с заданными потребительскими свойствами. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем с целью разработки рецептур и расширения ассортимента аналогов мясных полуфабрикатов для предприятий индустрии питания и пищевой промышленности.

Практическая значимость заключается в разработке рецептуры аналогов мясных рубленых изделий с применением соевого текстурата и гидролизатов белка гороха и подсолнечного шрота, с последующей их апробацией на фабрике-кухне ООО «Прайм Питание» (г. Екатеринбург). Разработан пакет нормативно-технической документации: ТУ и ТИ 0.89.19-003-40586197-2025 по производству гидролизата белка гороха и подсолнечного шрота, ТУ и ТИ 10.13.14-002-40586197-2025 для аналогов мясных рубленых изделий: биточки растительные «Солнышко», биточки растительные «Гороховые».

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе на кафедре технологии питания ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет».

Работа является комплексной и включает в себя элементы научного исследования, практического применения, методического использования, результаты которых получены лично автором либо при его непосредственном участии.

Методология исследований. Методологической основой работы являются труды отечественных и зарубежных ученых, касающиеся получения гидролизатов из растительного белковосодержащего сырья. Для решения поставленных задач применялись общенаучные подходы, при проведении экспериментальных исследований использовались классические и специальные методы.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности подтверждена результатами экспериментальных исследований, большими объемами экспериментальных данных, обработанных методами расчета статистической достоверности измерений с использованием компьютерных программ Microsoft Office Word и Excel для Windows 10, Statistica 13.

Основные положения и результаты работы докладывались на конференциях, форумах и выставках различного уровня, прошедших в Екатеринбурге (2022–2025), Курске (2024, 2026), Санкт-Петербурге (2024), Благовещенске (2024), Красноярске (2023–2025).

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 23 научных работы, из них 5 статей в журналах, входящих в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации; 3 публикации в изданиях, входящих в базу данных RSCI. Получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы, включающего 147 источников отечественных и зарубежных авторов, и семи приложений. Основное содержание работы изложено на 145 страницах, включает 27 рисунков и 53 таблицы.

Основное содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность работы, проанализирована степень разработанности проблемы, показаны научная новизна и практическая значимость, достоверность и уровень апробации, сформулированы научные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен аналитически обобщенный и систематизированный обзор российских и зарубежных открытых информационных источников по теме исследования. На основе проанализированных данных сформулированы цель и задачи собственных исследований.

Во **второй главе** приведена общая схема исследования (рисунок 1), определены объекты и методы исследований.

Объектами исследования в работе служили:

– сырье для получения белковых гидролизатов: сухой цельный горох сортов «Самариус», «Сахарный 2», «Труженик», «Флагман 12», «Альфа» (Свердловская область, урожай 2023 г.); шрот подсолнечника – продукт переработки семян подсолнечника при получении растительного масла (Свердловская область, урожай 2024 г.);



Рисунок 1 – Схема организации проведения экспериментальных работ

– опытные образцы белковых гидролизатов (ГБ), полученные ферментативным гидролизом с применением «Протозим Н», амилазы, целлюлазы и лактата кальция: ГБГ – гидролизат белка из зерен гороха; ГБП – гидролизат белка из шрота подсолнечника;

– модельные образцы мясо-растительных рубленых изделий; 4) модельные образцы аналогов мясных рубленых изделий (образцы 1.1 и 1.2) и готовые изделия (образцы 2.1 и 2.2).

В работе использованы стандартные общепринятые и специальные методы анализа. Обработка результатов экспериментальных исследований выполнена с использованием пакета программ для статистического анализа.

Теоретические и экспериментальные исследования выполнены в период с 2022 по 2026 г. Исследование свойств сырья и готовых изделий, отработка образцов продукции общественного питания проведены в лабораториях кафедры технологии питания и Едином лабораторном комплексе ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», прикладные исследования – на производственной базе ООО «Прайм Питание». Исследования выполнены в 3–5-кратной повторности.

В **третьей главе** представлены результаты экспериментального обоснования технологии получения гидролизатов белка из зерен гороха (ГБГ) и подсолнечного шрота (ГБП).

На *первом этапе* с целью выбора исходного сырья проведена оценка качества состава азотистых соединений (таблица 1).

Таблица 1 – Анализ исходного растительного сырья

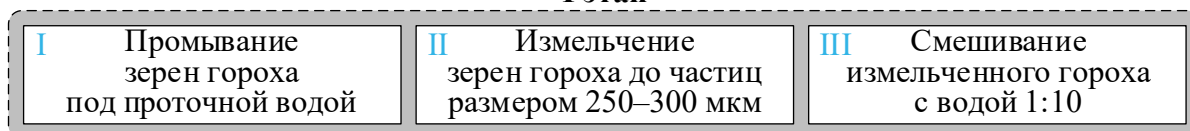
Сорт	Содержание белка, %	Аминокислота		«Идеальный белок» ФАО/ВОЗ, г/100 г	Содержание в белке, мг/г	Аминокислотный скор, %
		Наименование	Содержание, г/100 г			
Самариус	27,0 ± 0,5	Метионин + цистеин	0,57 ± 0,02	2,50	21,11 ± 0,63	84,40
		Триптофан	0,29 ± 0,01	1,10	10,74 ± 0,32	97,60
		Лизин	1,83 ± 0,05	5,80	67,78 ± 2,03	116,90
Труженик	23,5 ± 0,4	Метионин + цистеин	0,45 ± 0,01	2,50	19,15 ± 0,57	76,60
		Триптофан	0,16 ± 0,01	1,10	6,81 ± 0,20	61,90
		Лизин	1,54 ± 0,04	5,80	65,53 ± 1,96	113,00
Сахарный 2	21,5 ± 0,4	Метионин + цистеин	0,42 ± 0,01	2,50	19,53 ± 0,58	78,10
		Триптофан	0,18 ± 0,01	1,10	8,37 ± 0,25	76,10
		Лизин	1,57 ± 0,04	5,80	73,02 ± 2,19	125,90
Флагман 12	26,0 ± 0,5	Метионин + цистеин	0,52 ± 0,02	2,50	20,00 ± 0,60	80,00
		Триптофан	0,26 ± 0,01	1,10	10,00 ± 0,30	90,90
		Лизин	1,71 ± 0,05	5,80	65,77 ± 1,97	113,40
Альфа	25,0 ± 0,5	Метионин + цистеин	0,49 ± 0,01	2,50	19,60 ± 0,59	78,40
		Триптофан	0,23 ± 0,01	1,10	9,20 ± 0,27	83,60
		Лизин	1,68 ± 0,05	5,80	67,20 ± 2,01	115,90
Подсолнечный шрот	42,5 ± 0,8	Лизин	1,21 ± 0,03	5,80	28,50 ± 0,85	49,10
		Лейцин	2,08 ± 0,06	6,60	48,90 ± 1,46	74,10
		Метионин + цистеин	0,95 ± 0,03	2,50	22,40 ± 0,67	89,40

Горох сорта «Самариус» содержит 26–28 % белка с высоким уровнем лизина и триптофана (скор > 150 %) при лимитировании по серосодержащим аминокислотам (скор 84,4 %). Подсолнечный шрот (40–45 % белка) дефицитен по лизину (скор 49,1 %), но серосодержащие аминокислоты близки к норме ФАО/ВОЗ (скор 89,4 %).

На *втором этапе* предложены технологические решения для получения гидролизатов белка из зерен гороха и подсолнечного шрота (рисунок 2) в трех различных вариантах: ГБГ-1, ГБП-1 – водный гидролиз; ГБГ-2, ГБП-2 – ферментативный гидролиз с применением протеазы («Протозим Н») и лактата кальция; ГБГ-3, ГБП-3 – ферментативный гидролиз с применением амилазы (для ГБГ), целлюлазы (для ГБП), протеазы и лактата кальция.

Для определения оптимальных условий гидролиза использовали методы математического планирования эксперимента.

I этап



II этап

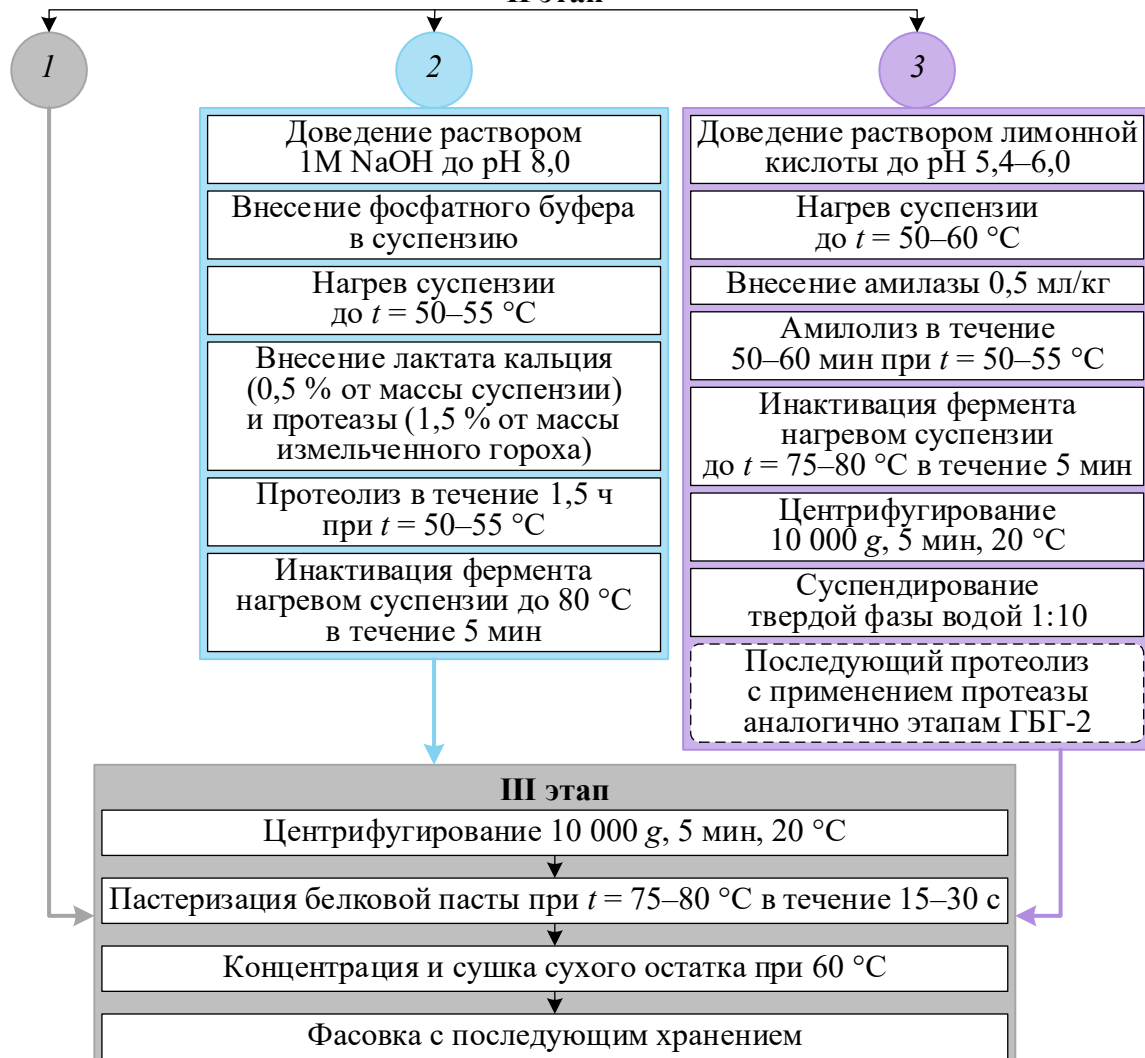


Рисунок 2 – Схема получения гидролизата белка гороха:

1 – ГБГ-1 (водный гидролиз в течение 1,5 ч); 2 – ГБГ-2 (протеолиз с лактатом кальция);
3 – ГБГ-3 (протеолиз с лактатом кальция + амилолиз)

Выходными параметрами служили степень гидролиза и массовая доля белка в гидролизате. Варьируемые факторы – концентрация протеазы, продолжительность гидролиза, температура и pH среды (рисунок 3).

Увеличение концентрации протеазы до 1,2–1,5 % и времени до 4–5 ч повышает степень гидролиза, однако дальнейший прирост замедляется вследствие снижения доступных пептидных связей и возможного ингибирования продуктами реакции и полифенолами шрота. Оптимальный гидромо- дуль составляет 1:8–1:10: при ГМ < 1:8 лимитирующим фактором является вязкость, при ГМ > 1:10 – разбавление субстрата. Указанные режимы обеспе- чивают степень гидролиза на уровне 18–20 %.

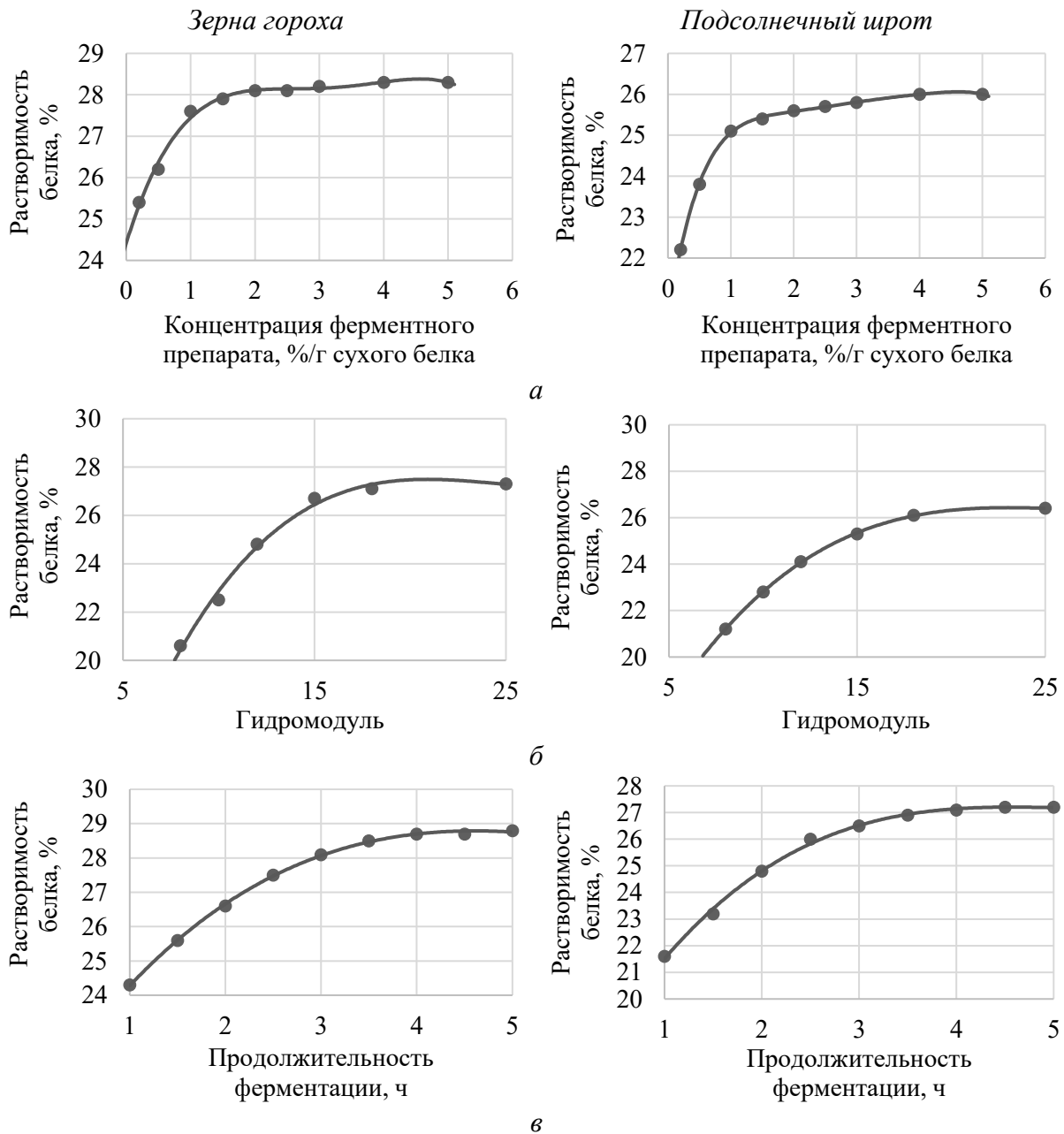


Рисунок 3 – Зависимость степени гидролиза белков гороха и подсолнечного шрота от концентрации «Протозима Н» (а) и параметров процесса: гидро модуля (б) и продолжительности (в)

Экспериментально подтверждено, что обработка горохового сырья амилазой снижает содержание крахмала, а введение лактата кальция увеличивает выход продукта за счет интенсификации коагуляции белков (рисунок 4).

Наибольшая эффективность гидролиза установлена для образца ГБГ-3 (протеаза, целлюлаза, лактат кальция). Данная комбинация обеспечивает гидролиз белка шрота с его осаждением, повышает выход продукта, разрушает клетчатку, улучшает растворимость, ЭС и органолептические свойства конечного продукта.

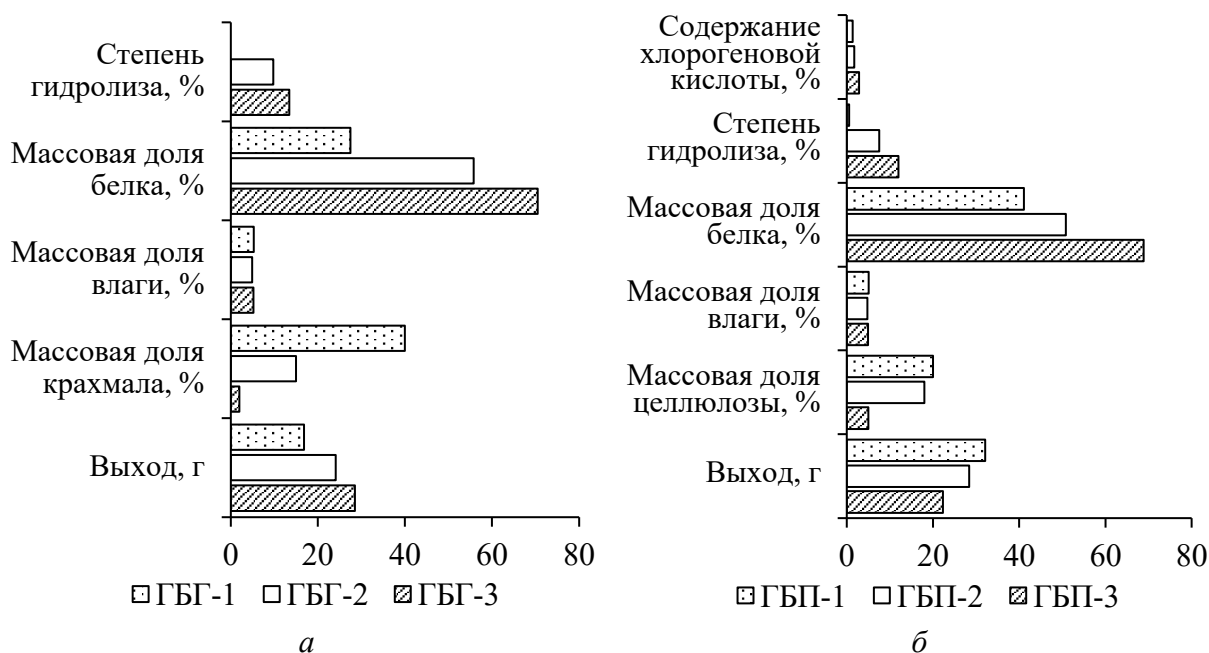


Рисунок 4 – Химический состав гидролизатов белка гороха (а) и подсолнечного шрота (б) в зависимости от способа получения

Анализ кинетических кривых сушки (рисунок 5) показал, что максимальная скорость удаления влаги достигается при 60 °С уже на 80–120 мин и составляет около 25 % в час. При температуре 70 °С пик скорости сдвигается к более ранним значениям (40–60 мин), что приводит к образованию плотной поверхностной корки, общему замедлению процесса вследствие повышения продолжительности сушки до 210 мин. Режим при 50 °С характеризуется наиболее низкой интенсивностью влагоудаления (пик не менее 20 % в час) и требует более 300 мин для достижения равновесной влажности.

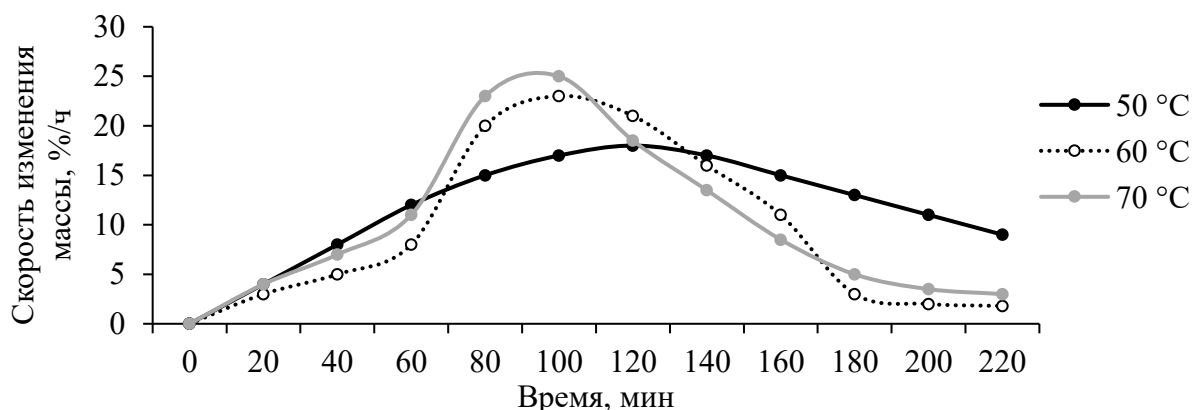


Рисунок 5 – Скорость изменения массы гидролизатов при различной температуре в сушильной камере

Предложенная технология позволяет получить растительные белковые гидролизаты ГБГ-3 и ГБП-3, которые отличаются высоким содержанием белка (70,5 % и 68,9 %) и улучшенными ФТС (таблица 2), что определяет их дальнейшее использование в составе пищевых систем.

Таблица 2 – Функционально-технологические свойства гидролизата белка семян гороха и подсолнечного шрота, %

Показатель	ГБГ-1	ГБП-1	ГБГ-2	ГБП-2	ГБГ-3	ГБП-3
М. д. влаги	5,3±0,2	5,1±0,2	4,9±0,2	4,8±0,2	5,2±0,2	4,9±0,2
ВСС	2,8	1,9	3,5	2,4	4,2	3,1
ВУС	68,5	62,1	75,2	68,5	81,7	74,3
ЖУС	1,9	2,5	2,3	2,9	2,8	3,4
ЭС	45,1	38,7	52,8	45,2	60,5	52,8
ГС	115,5	85,2	135,2	98,7	158,7	115,5

Гидролизат горохового белка (ГБГ-3) характеризуется максимальными ростом ВУС (81,7%), ЭС (60,5 %) и ГС (158,7%), что обусловлено глубоким гидролизом белков и удалением балластного компонента – крахмала. В свою очередь, гидролизат белка подсолнечного шрота (ГБП-3) отличается повышенной ЖУС (3,4 %) и высокой ЭС (52,8 %) благодаря деструкции клеточных стенок и высвобождению белков.

Далее изучены сенсорные профили образцов ГБ с указанием основных дескрипторов (запах, вкус) и их интенсивности по пятибалльной шкале (рисунок 6).

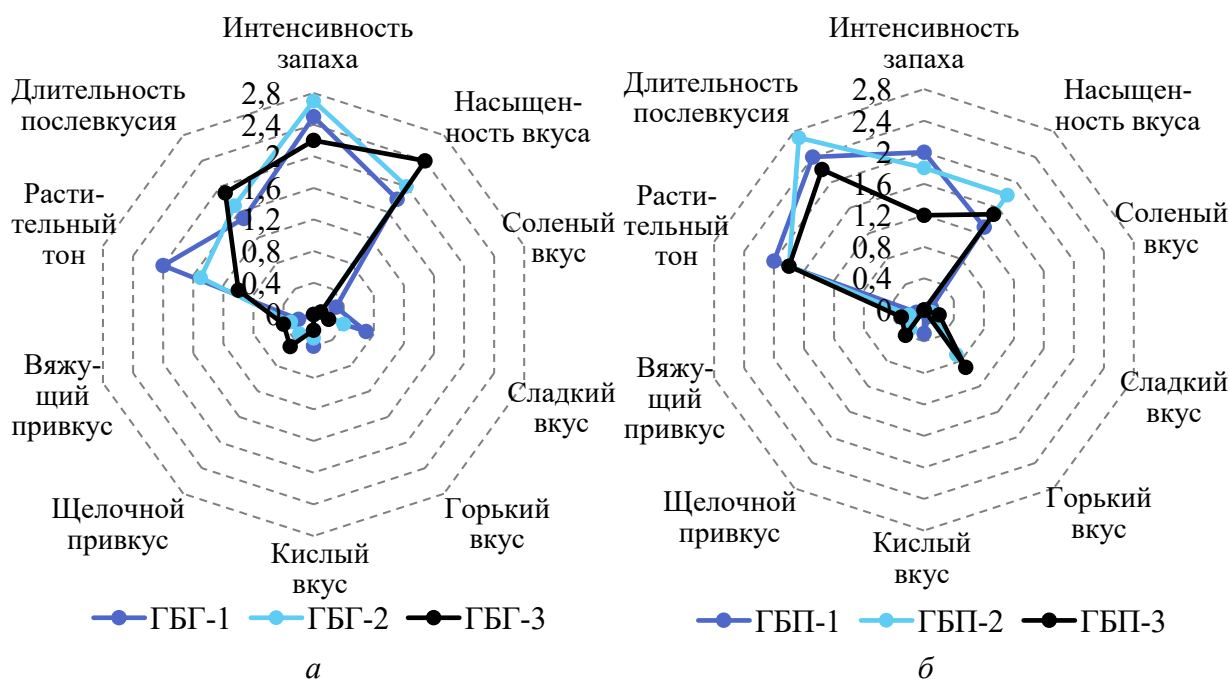


Рисунок 6 – Сенсорные профили белковых гидролизатов: а – зерна гороха; б – подсолнечного шрота

Установлено, что наиболее нейтральным является образец ГБГ-3, характеризующийся низкой интенсивностью запаха и нейтральным вкусом. В то же время образец ГБП-3, отличающийся повышенным содержанием белка, несмотря на небольшое наличие горечи в сравнении с ГБП-2, представляет наибольшую перспективу в качестве дополнительного источника

Рисунок 8 – Профиль потенциальной биологической активности пептидов в гидролизатах белка подсолнечного шрота

По смоделированному действию «Протозим Н» на белок подсолнечного шрота определено, что выделенные из гидролизата биоактивные пептиды обладают следующими свойствами: ингибируют АПФ, ренин, ДПП-3, ДПП-4 и неприлизин; стимулируют усвоение глюкозы, обладают гипоурикемическим эффектом, выполняют регулируемую функцию ряда физиологических процессов (таблица 4).

Таблица 4 – Биоактивные свойства потенциальных пептидов гидролизата белка подсолнечного шрота

Биологическая активность	Аминокислотные последовательности	Физиологическая роль
Ингибирование АПФ	IA, AF, AG, SF, KF, AI, FW, YV, ST	Расширение просвета сосудов, снижение артериального давления и нагрузки на сердце, улучшение кровообращения, нефропротективное действие
Ингибирование ренина	KF (лизин, фенилаланин), SF (серин, фенилаланин)	Кардио-, нефропротекторный и антигипертензивный эффект
Стимуляция усвоения глюкозы	IV (изолейцин, валин)	Снижение концентрации глюкозы в крови, регуляция метаболизма; преобразование глюкозы в гликоген и триглицериды в печени, жировой ткани и скелетных мышцах
Ингибирование ДПП-4	IA, MA, FA, AF, AG, AT, DN, EH, KF, ND, NV, SF, SI, SV, YV	Инкретиновая активность, увеличение секреции инсулина, снижение выработки глюкагона
Ингибирование ДПП-3	RV (аргинин, валин), FA (фенилаланин, аланин)	Снижение активности белка ДПП-3, ассоциированного с развитием рака эндометрия и яичников; предотвращение угнетения сердечной деятельности
Гипоурикемический эффект	FW (фенилаланин, триптофан)	Регуляция уровня мочевой кислоты в сыворотке крови, снижение риска острой почечной недостаточности
Ингибирование неприлизина		Подавление активности неприлизина, расщепляющего сигнальные пептиды, участвующие в транспорте белков
Регуляторная активность		Участие в регуляции и реализации разнообразных физиологических функций организма

На основе проведенных исследований (физико-химических, органолептических показателей и безопасности) установлен гарантированный срок хранения разработанных ГБ – 9 мес. при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности не выше 75 % (упаковка ПЭТ-Э). На предложенные ГБ разработаны ТУ и ТИ 10.89.19-003-40586197-2025, содержание которых полностью соответствует положениям ГОСТ Р 72353-2025. Апробацию ГБ проводили в ООО «Прайм Питание» (г. Екатеринбург).

В четвертой главе представлены результаты применения гидролизатов белка гороха и подсолнечного шрота в технологии мясных рубленых изделий и их аналогов.

Результаты разработки мясо-растительных изделий с заменой хлеба на ГБ гороха (образец 1.1) и сои (образец 1.2) на основе традиционной рецептуры биточков № 416 из Сборника технических нормативов (1996) показали возможность создания продукта с улучшенным аминокислотным профилем и низким содержанием углеводов (таблица 5).

Таблица 5 – Анализ контрольного и опытных образцов после жарки в пароконвектомате

Показатель	Контрольный образец	Образец 1.1	Образец 1.2
Аминокислотный скор на 100 г			
Валин	96,01	142,24	133,44
Треонин	111,56	161,52	155,94
Лизин	147,65	202,14	204,08
Фенилаланин	79,08	118,64	123,57
Триптофан	86,23	158,92	131,65
Метионин	71,69	103,25	89,22
Лейцин	112,46	166,12	143,41
Изолейцин	88,10	132,25	116,85
Пищевая ценность на 100 г			
Белки, г	13,41	13,69	14,27
Жиры, г	8,15	8,13	8,80
Углеводы, г	13,63	9,78	8,39
Калорийность, ккал	182,10	167,93	170,37

Выявленные закономерности и положительный эффект внесения ГБ формируют теоретическую и практическую базу дальнейшего исследования методов моделирования полностью растительных (веганских) аналогов, исключающих использование продуктов животного происхождения, с целью создания продуктов нового поколения, отвечающих современным трендам здорового и осознанного питания.

Далее изучены потребительские предпочтения в отношении аналогов растительного происхождения (опрос в Google Forms среди 500 респондентов – адептов ЗОЖ и фитнеса в возрасте от 18 до 45 лет), разработаны рецептуры и технология аналогов мясных рубленых изделий (рисунок 9).

Выявлено, что 42 % опрошенных придерживаются флекситарианства – рациона с ограниченным потреблением мяса, что создает предпосылки для внедрения разрабатываемых аналогов мясных изделий. В качестве предпочтительных источников растительного белка названы соя (42 %) и бобовые (40 %), что подтверждает выбор соевого текстурата и горохового белка как основы продукта.

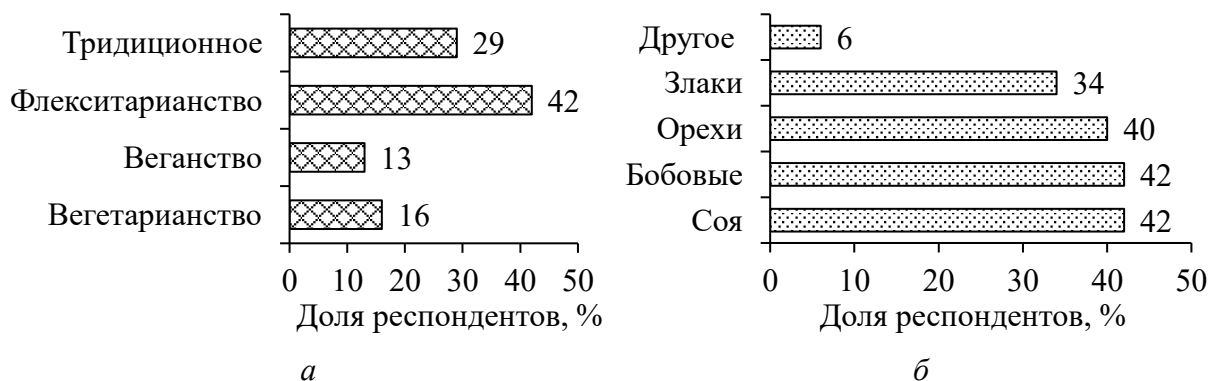


Рисунок 9 – Анализ потребительского отношения к продуктам растительного происхождения:

а – основные типы питания респондентов; б – отношение к растительным белкам

На основе математического моделирования рецептуры аналогов мясных рубленых изделий получены оптимизированные рецептуры, критериями оптимизации выступали органолептические показатели, пищевая ценность и себестоимость (таблица 6).

Таблица 6 – Оптимизированные варианты рецептур аналогов мясных рубленых изделий на 100 кг (без учета потерь), кг

Ингредиент	Образец 2.1		Образец 2.2	
	Брутто	Нетто	Брутто	Нетто
Фарш соевый текстурированный	13,2	13,2	13,4	13,4
Гидролизат белка гороха	19,8	19,8	–	–
Гидролизат белка подсолнечного шрота	–	–	18,6	18,6
Молоко альтернативное (овсяное)	28,4	28,4	27,8	27,8
Мука овсяная	10,0	10,0	11,1	11,1
Свекла отварная	18,0	10,8	18,0	10,8
Лук репчатый	11,4	9,0	11,4	9,0
Масло растительное	3,9	3,9	3,9	3,9
Соль поваренная	1,8	1,8	1,9	1,9
Перец черный молотый	0,9	0,9	0,9	0,9
Жидкий дым	0,9	0,9	0,9	0,9
Специи для котлет (чеснок сушеный, майоран, паприка копченая)	1,3	1,3	1,7	1,7
Масса, кг	–	100,0	–	100,0
Массовая доля, %:				
– жира	–	5,0	–	6,5
– белка	–	22,7	–	18,3
– углеводов	–	11,9	–	12,4
– сухих веществ	–	42,0	–	43,5

Далее в соответствии с задачами исследования изучены ФТС растительных аналогов мясных рубленых изделий (таблица 7).

Таблица 7 – Сравнительный анализ органолептических показателей и ФТС образцов аналоговых фаршевых систем

Показатель	Образец 2.1	Образец 2.2
Внешний вид		
М. д. влаги, %	$54,5 \pm 3,46$	$56,4 \pm 3,62$
М. д. белка, %	$22,70 \pm 0,10$	$18,30 \pm 0,10$
ВСС, %	$84,0 \pm 2,52$	$70,18 \pm 3,95$
ВУС, %	$75,42 \pm 4,19$	$70,18 \pm 3,95$
ЖУС, %	$80,76 \pm 5,12$	$75,23 \pm 4,56$
Выход готовой продукции, г	$92,0 \pm 1,84$	$90,0 \pm 1,80$

Установлено, что образец 2.1 (соевый текстурат + ГБГ-3) превосходит образец 2.2 (соевый текстурат + ГБП-3) по содержанию белка (22,7 % против 18,3 %), однако оба образца удовлетворяют суточную потребность в белке на 20–25 %.

Результаты органолептической оценки растительных аналогов мясных рубленых изделий после тепловой обработки представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Органолептическая оценка образцов

Показатель	Образец 2.1	Образец 2.2
Внешний вид	Форма четко выраженная, масса однородная, без трещин на поверхности	
Вид на разрезе	Плотный, сочный, соответствует входящим компонентам, фарш хорошо перемешан	
Цвет:		
– внешний	Золотисто-коричневый	Золотисто-коричневый
– на срезе	Коричнево-розовый	Коричневый
Запах	Жаренного изделия с ароматом копченой паприки и жидкого дыма	
Вкус	Чистый, нежный, соленый, слегка сладковатый, копченый	Чистый, соленый, слегка сладковатый, копченый

Установлено, что оба образца имеют четко выраженную форму, однородную консистенцию, равномерный золотисто-коричневый цвет и приятный аромат копченой паприки. Образец 2.1 характеризуется более нежным вкусом, сочностью и коричнево-розовым оттенком на срезе. Образец 2.2 имеет более плотную текстуру и однородный коричневый цвет на срезе. Исследуемые органолептические показатели готовых образцов оценивались по

пятибалльной шкале основных признаков (таблица 9) с последующим анализом их профиля текстуры (таблица 10).

Таблица 9 – Органолептические показатели качества растительных аналогов мясных рубленых изделий после тепловой обработки, балл

Показатель	Образец 2.1	Образец 2.2
Внешний вид и вид на разрезе (max 0,75)	$0,55 \pm 0,05$	$0,45 \pm 0,05$
Цвет (max 0,50)	$0,50 \pm 0,10$	$0,40 \pm 0,10$
Вкус и запах (max 2,50)	$2,10 \pm 0,10$	$2,00 \pm 0,10$
Консистенция (max 1,25)	$1,10 \pm 0,10$	$1,00 \pm 0,10$
Общий балл	$4,25 \pm 0,10$	$3,85 \pm 0,10$

Таблица 10 – Профиль текстуры растительных аналогов мясных рубленых изделий, %

Параметр	Образец 2.1	Образец 2.2
Твердость	$67,30 \pm 1,0$	$50,17 \pm 1,0$
Упругость	$55,46 \pm 1,0$	$50,26 \pm 1,0$
Когеция	$51,36 \pm 1,0$	$49,28 \pm 1,0$
Липкость	$34,56 \pm 1,0$	$24,72 \pm 1,0$

Результаты исследования физико-химических показателей (таблица 11) позволяют сделать вывод, что образец 2.1 характеризуется более высоким содержанием белка (22,7 %), оптимальным соотношением белка и жира (1:4,5) и меньшими потерями при тепловой обработке (8 %), что свидетельствует о лучшей технологической стабильности и более высоком выходе готовой продукции.

Таблица 11 – Физико-химические показатели образцов растительных аналогов мясных рубленых изделий

Показатель	Контрольный образец	Образец 2.1	Образец 2.2
М. д. влаги, %	$65,50 \pm 3,53$	$54,50 \pm 3,46$	$56,40 \pm 3,62$
М. д. белка, %	$15,40 \pm 0,10$	$22,70 \pm 0,10$	$18,30 \pm 0,10$
М. д. жира, %	$11,80 \pm 0,30$	$5,00 \pm 0,25$	$6,50 \pm 0,30$
Зола, %	$1,20 \pm 0,16$	$2,80 \pm 0,15$	$3,20 \pm 0,18$
Соотношение: – белка и жира – белка и воды	1,0:1,3 1,0:4,3	1,0:4,5 1,0:2,4	1,0:2,8 1,0:3,1
Потери при тепловой обработке, %	$16,0 \pm 0,06$	$8,0 \pm 0,08$	$10,0 \pm 0,06$

Исследование содержания незаменимых аминокислот в контрольном и опытных образцах (таблица 12) по отношению к эталону ФАО/ВОЗ показало, что разработанные растительные аналоги мясных рубленых изделий

превышают эталон по большинству аминокислот, несмотря на существенное превосходство мясного полуфабриката. При этом лимитирующей аминокислотой для выработанных образцов является метионин + цистин (скор 86,9 % в образце 2.1 и 89,1 % в образце 2.2). Таким образом, введение ГБ позволяет достичь сбалансированного аминокислотного состава продукта, приближающегося к эталону ФАО/ВОЗ.

Таблица 12 – Аминокислотный профиль образцов аналогов мясных рубленых изделий

Незаменимая аминокислота	Эталонный белок		Контрольный образец		Образец 2.1		Образец 2.2	
	Содержание, мг/г белка	Аминокислотный скор, %	Содержание, мг/г белка	Аминокислотный скор, %	Содержание, мг/г белка	Аминокислотный скор, %	Содержание, мг/г белка	Аминокислотный скор, %
Валин	50,00	100,00	96,01	192,02	68,50	137,00	62,30	124,60
Изолейцин	40,00	100,00	88,10	220,25	46,20	115,50	48,00	120,00
Лейцин	70,00	100,00	112,46	160,66	65,80	94,00	66,10	94,40
Лизин	55,00	100,00	147,65	268,45	64,80	117,80	61,50	111,80
Метионин + цистеин	35,00	100,00	71,69	204,83	30,40	86,90	31,20	89,10
Треонин	40,00	100,00	111,56	278,90	48,60	121,50	43,80	109,50
Триптофан	10,00	100,00	86,23	862,30	10,20	102,00	10,00	100,00
Фенилаланин + тирозин	60,00	100,00	79,08	131,80	75,40	125,70	71,50	119,20
<i>ИСАС</i>	1,00		0,99		0,87		0,89	
<i>КУАС</i>	1,00		0,72		0,89		0,88	
<i>ПСИ, %</i>	0,00		27,41		4,60		5,18	
<i>Критерий Харрингтона</i>	1,00		0,97		0,13		0,12	
<i>Биологическая ценность, %</i>	100,00		72,34		30,40		31,20	

Расчет экономической эффективности показал, что отпускная цена за 1 ед. изделий (массой 0,1 кг) контрольного образца мясного полуфабриката составляет 84,1 р., аналогов с применением ГБ гороха и подсолнечного шрота – 83,3 и 46,7 р. соответственно.

Заключение

В результате проведенной работы были решены поставленные задачи, на основании чего сделаны следующие выводы.

Анализ научно-технических и патентных источников показал, что ключевыми проблемами при создании растительных аналогов мясных рубленых изделий являются низкая биодоступность белков гороха и подсолнечного шрота, обусловленная наличием антипитательных факторов (ингибиторов протеаз, фитиновой кислоты, полифенольных соединений), а также несбалансированный аминокислотный профиль (дефицит серосодержащих аминокис-

лот в горохе и лизина в подсолнечном шроте). Обоснован выбор ферментативного гидролиза как основного способа модификации их белков для получения гидролизатов с заданными свойствами.

Разработаны научно обоснованные технологические параметры ферментативного гидролиза зерна гороха и подсолнечного шрота. Установлено, что применение комбинированной ферментативной обработки с использованием протеазы «Протозим Н» (1,5 %), амилазы (0,5 мл/кг) и целлюлазы (1 %) в сочетании с лактатом кальция (0,5 %) обеспечивает степень гидролиза белков до 45–55 % и позволяет получить гидролизаты с содержанием белка 70,5 % (для гороха) и 68,9 % (для подсолнечного шрота) при значительном улучшении функционально-технологических свойств. Установлено, что перевариваемость полученных гидролизатов составляет 91,22 % (ГБГ-3) и 88,92 % (ГБП-3), что на 23–25 % выше, чем у исходного сырья, и подтверждает высокую биодоступность белка.

Установлено, что полученные ГБ обладают высокой пищевой и биологической ценностью. Методом *in silico* (BIOPEP-UWM) идентифицированы пептиды, обладающие широкой биоактивностью (ингибирование АПФ, ДПП-4, антиоксидантная и др.), оказывающие благоприятное действие на организм человека.

Экспериментально обоснована эффективность применения разработанных ГБ в мясорастительных системах. Доказано, что внесение 7 % ГБГ в рецептуру мясных рубленых полуфабрикатов позволяет повысить ВУС до 75,4 %, ЖУС до 80,8 %, а также увеличить содержание незаменимых аминокислот (валина на 48,4 %, треонина на 44,8 %, лизина на 36,9 %) при одновременном снижении потерь массы при термообработке на 22 %. Инструментальная оценка профиля текстуры подтвердила, что образец с ГБГ по структурно-механическим характеристикам максимально приближен к традиционному мясному продукту.

На основе анализа потребительских предпочтений и с использованием методов математического моделирования разработаны рецептуры аналогов мясных рубленых изделий на основе комбинации соевого текстурата и ГБ (горохового – до 19,8 %, подсолнечного – до 22,2 %). Решение оптимизационной задачи линейного программирования позволило обеспечить заданные показатели качества (содержание белка ≥ 16 %, жира ≤ 18 %, потери при тепловой обработке ≤ 19 %) при снижении затрат на сырье на 4 % по сравнению с исходными рецептурами.

Проведена оценка качества, безопасности и пищевой ценности разработанных аналогов мясных рубленых изделий. Установлено, что изделия соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 по микробиологическим показателям, обладают сбалансированным аминокислотным профилем (аминокислотный скор по метионину + цистеину 86,9–89,1 %, биологическая ценность белка 30,4–31,2 %, индекс сбалансированности аминокислотного состава 0,869–0,891) и способны удовлетворять 25–26 % суточной потребности в белке при потреблении 100 г продукта.

Разработана техническая документация (ТУ 10.89.19-003-40586197-2025, ТИ 10.13.14-002-40586197-2025) для производства аналогов мясных рубленых изделий, обеспечивающая стабильность качества и возможность внедрения на предприятиях пищевой промышленности и индустрии питания. Установлен гарантированный срок хранения разработанных продуктов – 9 мес. при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности не выше 75 %.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в создании широкого ассортиментного пищевых продуктов различной функциональной направленности с использованием ГБ.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Статьи в журналах, входящих в базу данных RSCI

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

2. **Бикбулатов, П. С.** Анализ современного рынка растительных белков и технологических решений их получения / П. С. Бикбулатов, О. В. Чугунова, Н. В. Заворохина // Вестник КрасГАУ. – 2025. – № 5 (218). – С. 244–260.

3. Чугунова, О. В. Получение биоактивных пептидов из вторичных сырьевых ресурсов методом ферментации / О. В. Чугунова, Д. И. Девяткин, **П. С. Бикбулатов**, Н. В. Заворохина // Ползуновский вестник. – 2026. – № 1. – С. 152–157.

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

4. **Бикбулатов, П. С.** Влияние изолятов растительного белка на структурно-механические характеристики мясных систем / П. С. Бикбулатов, О. В. Чугунова, Н. В. Заворохина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2022. – Т. 10, № 4. – С. 45–56.

5. Чугунова, О. В. Методы экстракции и модификации изолята горохового белка, влияние на свойства / О. В. Чугунова, **П. С. Бикбулатов**, Н. В. Заворохина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13, № 2 (66). – С. 106–113.

6. **Бикбулатов, П. С.** Исследование синергетического эффекта лактата кальция, протеазы и целлюлазы в технологии получения белкового гидролизата из подсолнечного шрота / П. С. Бикбулатов, О. В. Чугунова, Н. В. Заворохина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2025. – Т. 13, № 4. – С. 43–53.

7. Чугунова, О. В. Ресурсный потенциал сортов гороха Свердловской области для получения белковых гидролизатов / О. В. Чугунова, **П. С. Бикбулатов**, Д. И. Девяткин [и др.] // Индустрия питания. – 2025. – Т. 10, № 3. – С. 53–61.

8. **Бикбулатов, П. С.** Эффективность комбинированного ферментативного гидролиза для получения высокобелкового гидролизата из гороха / П. С. Бикбула-

тов, Н. А. Панкратьева, О. В. Чугунова, Л. А. Донскова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2025. – Т. 87, № 4 (106). – С. 86–92.

Прочие публикации

9. **Бикбулатов, П. С.** Обоснование использования изолятов белков растительного происхождения в составе мясных систем / П. С. Бикбулатов, О. В. Чугунова // Проспект Свободный – 2022 (по научным направлениям секций ИТиСУ СФУ): сб. материалов XVIII Междунар. конф. (Красноярск, 25–30 апр. 2022 г.). – Красноярск: СФУ, 2022. – С. 37–40.

10. Вяткин, А. В. Применение протеина из семян тыквы и экстракта нута в производстве кулинарной продукции / А. В. Вяткин, **П. С. Бикбулатов**, О. В. Чугунова // Товаровед продовольственных товаров. – 2022. – № 11. – С. 694–702.

11. **Бикбулатов, П. С.** Получение белкового изолята из подсолнечного шрота / П. С. Бикбулатов // Проспект Свободный – 2023 (научное направление «Питание. Качество. Технологии»): сб. материалов XIX Междунар. конф. (Красноярск, 28 апр. 2023 г.). – Красноярск: СФУ, 2023. – С. 24–27.

12. **Бикбулатов, П. С.** Альтернативные решения использования растительных белковых компонентов в мясных полуфабрикатах / П. С. Бикбулатов, Н. А. Панкратьева // Промышленность и сельское хозяйство. – 2023. – № 11 (64). – С. 16–22.

13. **Бикбулатов, П. С.** Разработка технологии получения изолята горохового белка пищевого назначения / П. С. Бикбулатов // Информационные системы и технологии АПК и ПГС: сб. науч. ст. Междунар. науч.-техн. конф. (Курск, 6 окт. 2023 г.): в 2 т. – Курск: Курский ГАУ, 2023. – Т. 2. – С. 369–372.

14. **Бикбулатов, П. С.** Ферментные препараты и биокаталитические процессы в пищевой промышленности / П. С. Бикбулатов, А. В. Арисов, О. В. Чугунова // Вестник биотехнологии. – 2023. – № 4 (37). – URL: <https://bio-urgau.ru/ru/4-35-2023/23-4-2023>.

15. **Бикбулатов, П. С.** Физические способы модификации растительного белка / П. С. Бикбулатов // Политех наукам о жизни: сб. тез. докл. III Всерос. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 24–27 окт. 2023 г.). – СПб.: Политех-Пресс, 2024. – С. 5.

16. **Бикбулатов, П. С.** Метод экстракции и модификации изолята горохового белка / П. С. Бикбулатов // Россия – Евразия – мир: интеграция – развитие – перспектива: материалы XIV Евраз. экон. форума молодежи (Екатеринбург, 22–26 апр. 2024 г.): в 4 т. – Екатеринбург: УрГЭУ, 2024. – Т. 3. – С. 5–7.

17. **Бикбулатов, П. С.** Перспективы получения изолята белка из семян подсолнечника / П. С. Бикбулатов, О. В. Чугунова // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 18–19 апр. 2024 г.): в 5 т. – Благовещенск: ДальГАУ, 2024. – С. 28–33.

18. **Бикбулатов, П. С.** Перспективы: получение и применение изолята горохового белка / П. С. Бикбулатов // Проспект Свободный – 2024: материалы XX Междунар. конф. (Красноярск, 18 апр. 2024 г.). – Красноярск: СФУ, 2024. – С. 18–20.

19. **Бикбулатов, П. С.** Характеристика способов получения изолята белка гороха / П. С. Бикбулатов, О. В. Чугунова // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 24 апр. 2024 г.). – Екатеринбург : УрГЭУ, 2024. – С. 9–14.

20. **Бикбулатов, П. С.** Использование растительных белков в расширении ассортимента продуктов «здорового» питания / П. С. Бикбулатов, О. В. Чугунова // Региональные рынки потребительских товаров: качество, экологичность, ответственность бизнеса : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Красноярск, 5–7 дек. 2024 г.). – Красноярск : Буква С, 2025. – С. 242–246.

21. **Бикбулатов, П. С.** Анализ современного рынка растительных белков и технологических решений их получения / П. С. Бикбулатов // Евразийская синергия: многополярность – интеграция – диалог цивилизаций : материалы XV Евраз. экон. форума молодежи (Екатеринбург, 21–25 апр. 2025 г.). – Екатеринбург : УрГЭУ, 2025. – С. 88–90.

22. Чугунова, О. В. Определения кинетических параметров амилазы в технологии получения гидролизата белка гороха / О. В. Чугунова, **П. С. Бикбулатов** // Качество продукции в АПК: контроль, управление, повышение, планирование : материалы 3-й Междунар. молодеж. науч.-практ. конф. (Курск, 1 апр. 2026 г.). – Курск : Курский ГАУ, 2026. – С. 257–262.

Результаты интеллектуальной деятельности

23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026661925 Российская Федерация. Компьютерная программа для расчета оптимальных параметров ферментативного гидролиза белковосодержащего растительного сырья : № 2026661821 : заявл. 24.04.2026 : опубл. 24.04.2026 / **П. С. Бикбулатов**, О. В. Чугунова, Д. В. Гращенко.

Подписано в печать 03.07.2026.
Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать плоская.
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 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