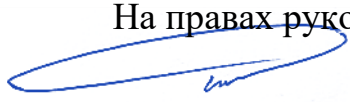


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

На правах рукописи



**Бикбулатов Павел Станиславович**

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

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор,  
**Чугунова Ольга Викторовна**

Екатеринбург – 2026

## Оглавление

Введение.....	4
1 Обзор литературы.....	9
1.1 Применение растительного сырья в производстве аналогов мясных продуктов.....	9
1.2 Возможности промышленного получения белковых продуктов из растительного сырья .....	15
1.3 Функционально-технологические свойства белков, полученных из растительного белковосодержащего сырья.....	21
1.4 Применение растительных белков в пищевой промышленности .....	25
1.5 Анализ рынка растительных аналогов.....	31
Выводы по главе 1 .....	36
2 Объекты и методы исследования .....	39
2.1 Организация проведения эксперимента .....	39
2.2 Объекты исследования .....	41
2.3 Методы исследования.....	45
3 Получение и оценка качества гидролизатов из растительного белковосодержащего сырья .....	53
3.1 Характеристика белковосодержащего сырья, используемого для получения растительных гидролизатов .....	53
3.2 Обоснование применения ферментных препаратов и лактата кальция в технологии получения гидролизата белка гороха и подсолнечного шрота .....	58
3.3 Разработка технологии получения гидролизата белка гороха .....	63
3.4 Разработка технологии получения гидролизата белка подсолнечного шрота .....	69
3.5 Изучение функционально-технологических свойств гидролизата белка гороха и подсолнечного шрота.....	74

3.6 Изучение аминокислотного состава гидролизатов белка гороха и подсолнечного шрота .....	77
3.7 Оценка качества, определение условий и сроков хранения гидролизатов белка .....	82
Выводы по главе 3 .....	85
4 Разработка рецептуры и технологии аналогов мясных полуфабрикатов на основе растительного белка .....	88
4.1 Обоснование целесообразности разработки мясных аналогов .....	88
4.2 Разработка рецептур аналогов мясного полуфабриката на основе растительных белков .....	92
4.2.1 Формирование качества мясных рубленых кулинарных изделий с оптимизированным аминокислотным профилем .....	92
4.2.2 Математическое моделирование рецептуры аналога мясного рубленого изделия на основе растительного белка .....	100
4.3 Исследование реологических показателей и сенсорная оценка модельных образцов аналогов мясных рубленых изделий .....	107
4.4 Анализ пищевой и биологической ценности растительных аналогов мясных рубленых изделий .....	115
4.5 Расчет экономической эффективности .....	121
Выводы по главе 4 .....	122
Заключение .....	125
Список литературы .....	127
Приложение А Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.....	146
Приложение Б Протоколы лабораторных испытаний .....	147
Приложение В Результаты микробиологических исследований .....	153
Приложение Г Результаты исследования структурно-механических свойств	155
Приложение Д Технические условия ТУ 10.89.19-002-02069214-2025 .....	157
Приложение Е Технологическая инструкция ТИ 10.89.19-002-02069214-2025	158
Приложение Ж Протокол испытаний по определению показателей безопасности .....	159

## Введение

**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 флекси-тарианцев, 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, С. 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. Char4digny, 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 %, жирудерживающей способности до 80,8 %, снижение потерь при тепловой обработке и позволяет получить продукт с содержанием белка не менее 22,7 % и сбалансированным 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 серии 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.

# 1 Обзор литературы

## 1.1 Применение растительного сырья в производстве аналогов мясных продуктов

Белки растительного сырья могут представлять альтернативу продуктам животного происхождения. Из них получают такие продукты, как изоляты, концентраты, растительная мука и т. д. За счет безопасности и легкоусвояемости белки растительного происхождения находят широкое применение в детском, диетическом и функциональном питании, используются для повышения пищевой и биологической ценности рациона. Структура мирового производства основных продуктов, получаемых из белков растительного происхождения, приведена на рисунке 1.

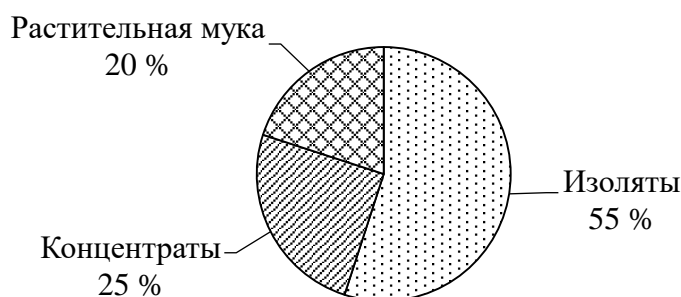


Рисунок 1 – Мировое производство продуктов на основе белков растительного происхождения в 2023 г. [4; 7; 39; 41]

На сегодняшний день изолят растительных белков является наиболее популярным продуктом переработки среди производителей и потребителей и занимает основную долю рынка, что обуславливается его высокими пищевыми и биологическими характеристиками [9]. Изоляты растительных белков используются в производстве различных функциональных продуктов питания благодаря их высокому уровню пищевой ценности.

Сырьем в производстве изолята белка служит преимущественно зерно гороха. Несмотря на высокий выход, получаемый белок имеет ряд примесей, снижающих общую чистоту готового продукта. Химический состав зерна гороха представлен на рисунке 2.

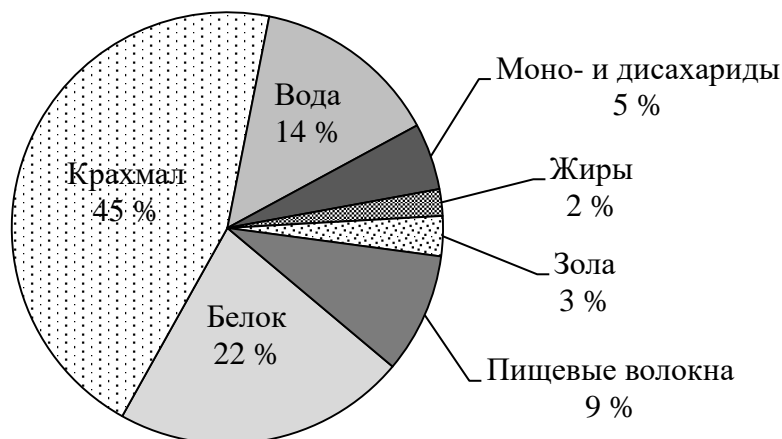


Рисунок 2 – Химический состав зерна гороха [47; 77]

Возможность использования различных видов экстракции позволяет существенно снизить уровень примесей в готовом белковом продукте и получить чистый концентрат или изолят с высокой биологической ценностью и содержанием белка [111].

Одним из наиболее популярных на сегодняшний день способов получения изолята горохового белка является метод мягкого фракционирования, позволяющий получить чистый конечный продукт с небольшими затратами и низким уровнем отходов [138]. Химический состав изолята горохового белка, полученного методом мягкого фракционирования, представлен на рисунке 3.

Представленные результаты показывают существенные преимущества изолята горохового белка. Данный продукт отличается легкой усвояемостью и представляет собой высокотехнологичный ингредиент в различных пищевых системах, позволяющий повышать пищевую ценность рациона и получать необходимые функционально-технологические свойства (ФТС). Например, гороховый белок можно текстурировать с целью получения различных пищевых добавок и использования как альтернативу мясным продуктам.

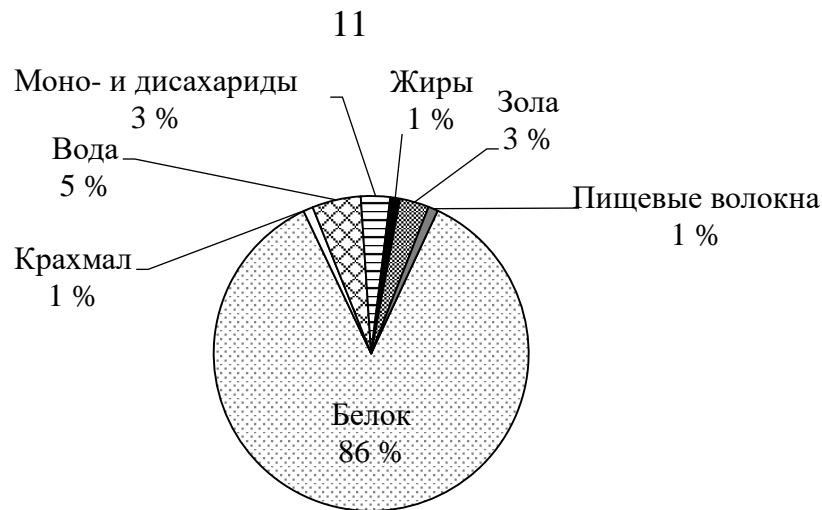


Рисунок 3 – Состав изолята горохового белка, полученного методом мягкого фракционирования [79; 84; 111]

При высоком уровне влажности производители с помощью методов экструзии добиваются получения волокнистой структуры изделий, что положительно воспринимается потребителями [80; 132; 136].

Таким образом, возможность модификации молекулярной структуры или химических групп белка с применением различных методов или их комбинаций позволяет достигнуть повышенных показателей функциональных свойств готовой продукции с использованием растительных белков.

При этом использование растительного белка как дополнительного компонента рациона или как альтернативы животному белку в составе традиционных рецептов позволит существенно повысить общее содержание белка. В гороховом белке содержатся все восемь незаменимых аминокислот, что делает его одним из наиболее «полноценных» растительных белков [67; 119; 128]. Сравнение содержания незаменимых аминокислот в эталонном белке и гороховом протеине представлено на рисунке 4.

Преимущества данного растительного белка обуславливаются высоким содержанием лейцина, изолейцина и валина, способствующих росту и восстановлению мышечных тканей, что представляет высокую ценность для людей, ведущих здоровый образ жизни. Для спортсменов и людей, следящих за своим здоровьем, важно наличие в составе горохового белка аргинина, обеспечивающего повышение уровня выносливости и снижение общей усталости [75; 95; 119].

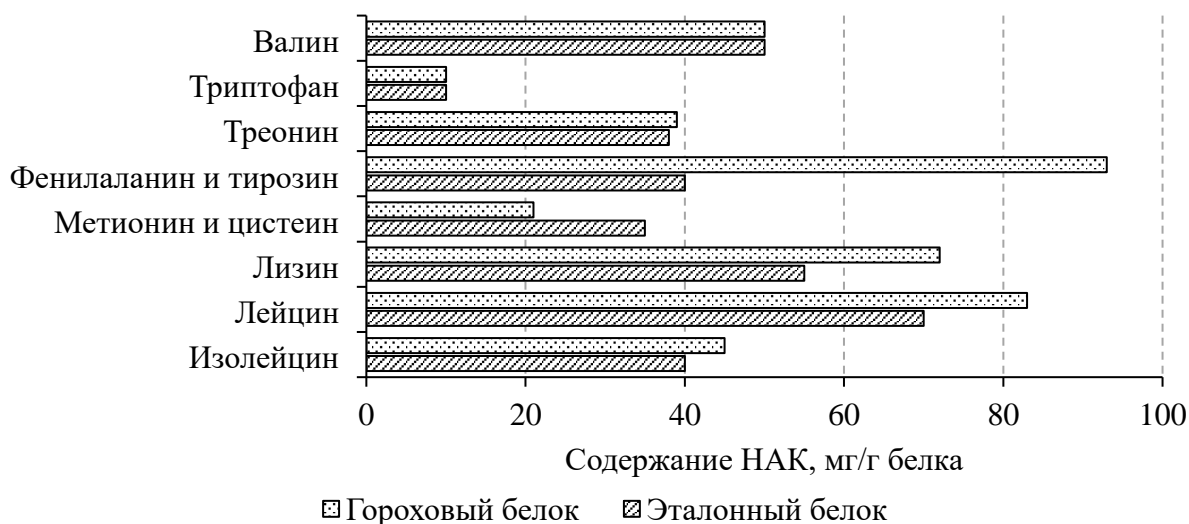


Рисунок 4 – Сравнение содержания незаменимых аминокислот в эталонном белке и белке гороха [18; 34]

Преимущества использования белка гороха в составе пищевых систем также обусловлены отсутствием в нем наиболее популярных пищевых аллергенов – казеина, лактозы, сои, глютена.

Наряду с зерном гороха, исходным сырьем для производства растительного белка различной концентрации выступает подсолнечник. Помимо основного выводимого компонента – белка, подсолнечник имеет основной фактор, снижающий общую чистоту готового продукта, – жир. Состав зерен подсолнечника представлен на рисунке 5.

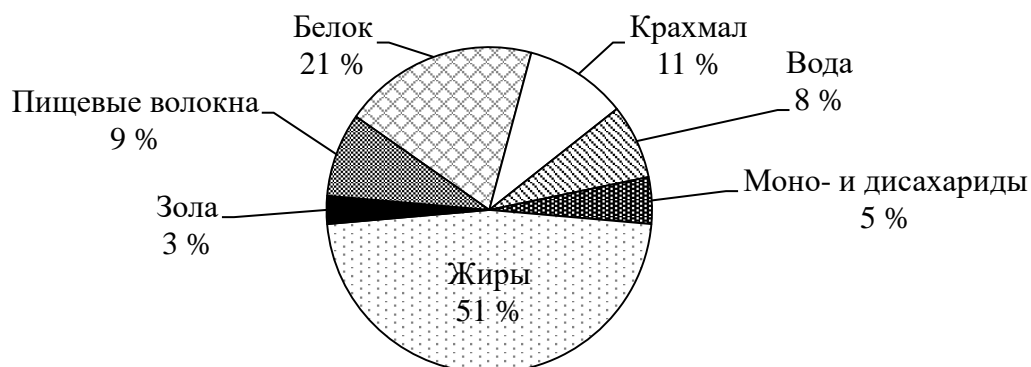


Рисунок 5 – Состав зерна подсолнечника [11; 44; 104]

Несмотря на крайне малую популярность, белок подсолнечника в рационе также представляет высокую ценность и может быть использован в качестве аль-

тернативы животным белкам [94; 99]. Перспективы развития производств, направленных на экстракцию данного растительного белка, достаточно высоки ввиду распространенности подсолнуха на территории России и высоких функциональных и пищевых свойств [10].

Одним из способов получения белка подсолнечника является его высаливание с помощью NaCl. Аминокислотный профиль изолята белка подсолнечника, полученный методом высаливания, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Аминокислотный профиль изолята белка подсолнечника, полученного методом экстрагирования NaCl [65; 106; 127]

Аминокислота	Содержание в белке семян подсолнечника, г/100 г	Аминокислота	Содержание в белке семян подсолнечника, г/100 г
Незаменимые аминокислоты		Заменимые аминокислоты	
Валин	7,86	Аланин	4,09
Лейцин	5,64	Аспаргиновая кислота	9,32
Изолейцин	2,61	Цистин	3,06
Метионин	3,47	Глютаминовая кислота	18,84
Фенилаланин	7,86	Глицин	4,03
Триптофан	0,99	Пролин	4,13
Треонин	3,13	Серин	3,31
Лизин	2,37	Тирозин	2,14

Анализ физико-химических свойств семян подсолнечника [127; 147] показал, что данный продукт содержит в своем составе два основных типа белка: водорастворимые альбумины (альбумины подсолнечника) и растворимые в соли глобулины (гелиантинины). Соотношение данных белков составляет 2:1 (11S:2S соответственно), т. е. в подсолнечнике содержится 60–80 % гелиантининов и 25–30 % альбуминов. Альбумины, содержащиеся в семенах подсолнечника, представляют собой щелочные белки с общей молекулярной массой от 10 до 18 кДа, обладают высоким уровнем растворимости и не зависят от pH раствора и его ионной силы. Данная группа, охватывающая некоторые богатые цистеином белки, имеет общий коэффициент сегментации 2S и существует в различных формах, включая богатые

метионином 2S-белки (12 кДа) и запасные белки 2S-альбумина (16 кДа). В отличие от альбуминов, олигомеры, составляющие гелиантинин, имеют молекулярную массу от 300 до 350 кДа (11S-глобулины), что позволяет им в дальнейшем расщепляться на более простые молекулы: мономеры (2S-3S) или олигомеры (7S) с пониженной молекулярной массой [147].

Сравнение профиля незаменимых аминокислот эталонного белка и изолята белка подсолнечника представлено на рисунке 6.

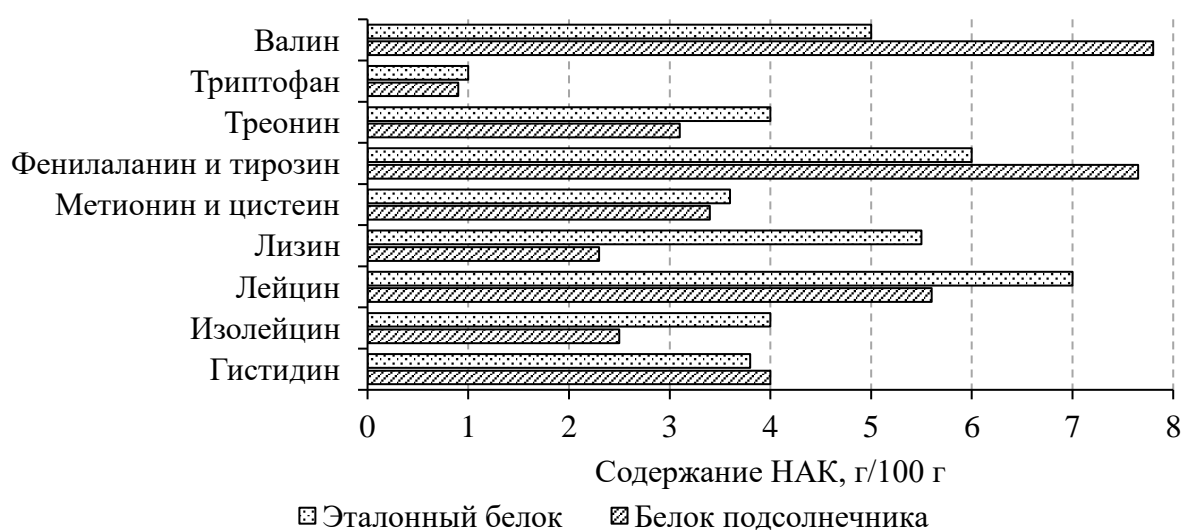


Рисунок 6 – Сравнение незаменимых аминокислот эталонного белка и изолята белка подсолнечника [43; 53; 104; 117]

Из рисунка следует, что экстрагируемый белок подсолнечника превосходит эталонный белок по содержанию таких незаменимых аминокислот, как валин, гистидин и фенилаланин в 2,3; 0,2 и 1,65 раза соответственно. Результаты сравнения показывают возможность использования белка подсолнечника как альтернативы белкам животного происхождения и его внедрения в традиционные рационы с целью повышения общей биологической ценности.

Несмотря на то, что растения могут служить источником белка, существует ряд факторов, препятствующих их широкому распространению в качестве альтернативы животным белкам. Так, общее содержание белка в растительных продуктах намного ниже в сравнении с животными. Данный факт приводит к необходимости потреблять большое количество продуктов растительного происхождения для до-

стижения необходимого уровня белка в рационе либо выделять и концентрировать растительный белок. Однако сложность связана с тем, что белок, полученный из продуктов растительного происхождения, имеет ограниченный состав незаменимых аминокислот и более низкую усвояемость ввиду наличия антипитательных факторов, что требует поиска путей подавления их влияния [10; 12; 38]. Так, зерновые культуры овес, рис, кукуруза и пшеница лимитированы по лизину, фасоль и колотый желтый горох – по триптофану. При этом, чтобы потребить 10 г эквивалентного качественного белка, потребуется 32,2 г жареной куриной грудки, 79,5 г вареных яиц, 63 г нутовой муки, 187 г очищенного ячменя и 113 г оптимизированной смеси нута и ячменя, или 53; 123; 244; 636 и 401 ккал соответственно [37; 49; 55]. Таким образом, потребление эквивалентного количества качественного белка требует потребления большего количества растительного белка.

Ряд исследований показал, что растительные белки эффективны в снижении веса и его поддержании на заданном уровне [57; 66; 78; 91], что обусловлено низкой энергетической ценностью растительных продуктов и повышенным чувством насыщения после их потребления. Преимущества включения данных продуктов в рацион также связаны со снижением риска развития диабета, поддержкой здоровья при ишемической болезни и снижением общего артериального давления [15; 87; 141].

## **1.2 Возможности промышленного получения белковых продуктов из растительного сырья**

Белковые продукты, получаемые из растительного сырья (соя, нут, горох, подсолнечник), представляют собой легкоусвояемые источники протеина. Их промышленное получение требует применения специализированных технологий, направленных не только на извлечение белка, но и на снижение содержания анти-

питательных веществ (фитиновая кислота, дубильные вещества, ингибиторы трипсина), которые могут негативно влиять на усвоение нутриентов организмом. Например, методы экстракции с последующей модификацией позволяют существенно улучшить пищевые и биологические показатели конечного продукта [16; 96; 108; 110].

Основным методом получения растительного белка является экстракция. Эффективность этого процесса зависит от комплекса факторов, включая физико-химические свойства белковых молекул (форма, молекулярная масса, заряд, соотношение полярных и неполярных групп, растворимость и устойчивость к денатурации) и технологические параметры [12; 14; 41; 52].

Существует несколько способов экстракции, каждый из которых оказывает специфическое влияние на функциональные свойства и характеристики конечного продукта. Сравнительный анализ основных методов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Преимущества основных методов экстракции растительного белка

Метод экстракции	Преимущества метода	Примеры применения
Щелочная экстракция и изоэлектрическое осаждение [45; 83]	Наиболее распространенный традиционный метод; нарушает нативную структуру, что повышает усвояемость; обеспечивает высокое содержание белковых частиц в продукте	Промышленное производство изолятов и концентратов из бобовых для мясных аналогов. Модификации (ультразвук, кислотная обработка) применимы для масличных культур (подсолнечник, рапс), позволяя достичь чистоты белка 93–95 %
Щелочная экстракция и ультрафильтрация [45; 100]	Снижает содержание олигосахаридов и фитиновой кислоты; обеспечивает более высокое содержание белка по сравнению с солевой экстракцией	Получение высокоочищенных изолятов из бобовых и масличных культур. Комбинация с ферментативным гидролизом эффективна для переработки жмыха и шротов
Сухое фракционирование [122; 131]	Не требует использования воды; позволяет разделить сырье на белковые и крахмальные фракции методом воздушной классификации	Производство обогащенной белком муки и концентратов из гороха, нута, бобов для хлебопечения и других отраслей
Солевая экстракция [48; 96]	Сохраняет нативные фракции белка (7S и 11S); обеспечивает высокую растворимость, маслоудерживающую и пенообразующую способность, а также низкую водоудерживающую способность	Выделение нативных белков из люпина и сои. Применима для масличных культур при создании изолятов с улучшенными функциональными свойствами

Продолжение таблицы 2

Метод экстракции	Преимущества метода	Примеры применения
Мягкое фракционирование [10; 15; 43]	Гибридный метод, сочетающий сухое и влажное фракционирование; повышает чистоту конечного продукта	Универсален для бобовых и масличных культур. Механоферментативная обработка эффективна для подсолнечника и рапса, а преципитация – для гороха и сои

Каждый метод имеет свои технологические особенности, этапы реализации и целевую направленность. Для зернобобового сырья экстракция позволяет добиться снижения антипитательных примесей в выделяемом продукте и получить растительный белок высокой пищевой и биологической ценности [124]. При этом использование любого метода позволяет получить продукт с различной чистотой, функциональными свойствами и процентами отхода.

Сухое фракционирование включает два основных этапа: шелушение и измельчение с последующей воздушной классификацией. Шелушение может быть сухим (с применением микроволн и ультразвука для истирания оболочки) или мокрым (замачивание в воде с последующей химической или ферментативной обработкой). Измельчение направлено на получение частиц муки диаметром менее 40 мкм для отделения белка от крупных примесей. Воздушная классификация разделяет мелкие белковые частицы и более крупные крахмальные гранулы, повышая концентрацию белка.

Мягкое фракционирование позволяет решить проблему слипания частиц, характерную для сухого помола, за счет добавления небольшого количества воды. Это улучшает разделение компонентов, но сопряжено с рядом недостатков: частичная потеря нативности белка из-за технологических воздействий, а также высокая стоимость энергии и воды, что увеличивает себестоимость продукта. Полученный концентрат сушат методом лиофилизации или распылительной сушки.

Щелочная экстракция с изоэлектрическим осаждением является наиболее популярным методом влажного фракционирования для получения высокочистых продуктов. Процесс включает: измельчение и обезжиривание сырья; растворение белка в воде при  $pH > 7$ ; центрифугирование для отделения белковой фракции от

крахмала; осаждение белка в изоэлектрической точке с помощью HCl; повторное растворение осадка и нейтрализацию NaOH; финальную сушку.

Ультрафильтрация – щадящий мембранный метод, позволяющий концентрировать и фракционировать белки без нагрева, сохраняя их нативную структуру. Используются мембраны с размером пор 0,001–0,1 мкм, удерживающие молекулы массой до 30 000 кДа. Диафильтрация (разбавление ретентата водой) снижает вязкость раствора и повышает эффективность фильтрации. Метод широко применяется в молочной промышленности и перспективен для получения высокоочищенных растительных белков.

Солевая экстракция основана на солюбилизации и высаливании белков. Измельченное сырье обрабатывают 0,3М NaCl при нагревании, затем охлаждают и фильтруют. Для сохранения нативной структуры оптимальным является pH 8. Альтернативно для выделения концентрата могут использоваться диализ или ультрафильтрация [96].

Ферментативный метод отличается экологичностью и безопасностью. Ферменты разрушают клеточные стенки, высвобождая белки и расщепляя их на более мелкие частицы, что повышает усвояемость. Метод улучшает растворимость и облегчает фракционирование [42; 59; 60; 135]. Протеазы снижают денатурацию и минимизируют связи белка с балластными компонентами. Несмотря на преимущества, метод имеет недостатки: большие затраты времени, сложность масштабирования, высокие эксплуатационные расходы и строгие требования к условиям хранения ферментов.

Выбор метода экстракции позволяет получить продукт с определенным уровнем чистоты и пищевой ценности. Для улучшения функциональных свойств белка под конкретные технологические задачи применяются методы модификации его молекулярной и химической структуры. В таблице 3 представлены различные методы модификации растительного белка и их влияние на свойства.

Таблица 3 – Методы модификации растительного белка и их влияние на свойства

Категория	Метод обработки	Модифицированные характеристики	Примеры
Физическая модификация [103]	Обработка высоким давлением ( <i>HPP</i> )	Обеспечивает структурные изменения, стабильность пенообразования и улучшение эмульгирующих свойств	Повышение эмульгирующей и пенообразующей способности соевого белка за счет частичной денатурации
	Термическая обработка сдвигом (экструзия)	Улучшает текстуру белка	Экструзия соевой муки и горохового концентрата дает текстурированный белок с мясоподобной структурой
	Плазменная обработка при холодном атмосферном давлении	Улучшает растворимость, эмульгирующую и водоудерживающую способность	Повышение растворимости и эмульгирующих свойств белка масличных культур
	Ультразвуковая обработка	Улучшает гелеобразующие свойства и повышает растворимость	Снижение размера частиц белка гороха, повышение растворимости и гелеобразующей способности
Химическая модификация [86; 89]	Гликирование	Помогает уменьшить привкус бобов	Снижение бобового запаха и улучшение эмульгирующей способности соевого белка с декстраном
	Ацилирование	Помогает улучшить растворимость, стабильность эмульсии, водоудерживающую способность и пенообразующие свойства	Сукцинирование белка рапса повышает растворимость при кислом pH и стабильность эмульсии
	Деамидирование	Улучшает растворимость и уменьшает неприятный привкус бобов, горечь и комковатость	Деацилирование белка канаолы снижает горечь и улучшает растворимость
Биологическая модификация [97; 107]	Ферментация	Улучшает усвояемость белка	Повышение перевариваемости и снижение содержания антинутриентов белка сои
	Ферментативная модификация	Улучшает растворимость, гидрофобность, эмульгирующие и пенообразующие свойства белка	Гидролиз белка подсолнечника протеазами улучшает растворимость и пенообразование

Исходя из представленных данных можно говорить о том, что каждый из методов модификации позволяет повысить и улучшить физико-химические и функционально-технологические свойства растительного продукта. Однако каждый из них имеет свои особенности.

Так, обработка высоким давлением (*HPP*) представляет собой нетермический метод (200–700 МПа), разрушающий нековалентные связи и расщепляющий сложные белки на более мелкие фрагменты, что повышает их усвояемость [62].

Ультразвуковая обработка основана на акустической кавитации – образовании и схлопывании пузырьков газа, что приводит к уменьшению размера частиц и увеличению гидрофобности поверхности. Это изменяет трехмерную структуру белка, раскрывая заряженные группы и повышая гидрофильность [13].

Холодная атмосферная плазма использует ионизированный газ с активными частицами и УФ-излучением для повышения гидрофобности, эмульгирования и гелеобразования белков [111].

Гликирование – образование ковалентных конъюгатов белка с полисахаридами в мягких условиях. Метод улучшает растворимость, не изменяя нативную структуру белка. Например, инкубация горохового изолята с гуммиарабиком в течение 3 сут повышает растворимость за счет увеличения неоднородности и сегментации белковых гранул [92; 98].

Ацилирование – нуклеофильная реакция, снижающая гидрофобность поверхности и повышающая растворимость белка выше изоэлектрической точки [17].

Ферментация как нетермический метод обработки направлена на повышение функциональных свойств и общей биодоступности растительных белков. Метод основан на использовании различных микроорганизмов – бактерий и грибов. Ферментация с использованием молочнокислых бактерий улучшает органолептические свойства, снижая растительный привкус. Однако длительная ферментация может снижать рН среды и, как следствие, растворимость белка.

Ферментативный гидролиз с применением протеаз расщепляет пептидные связи, образуя пептиды и аминокислоты меньшей молекулярной массы [14; 40]. Это

повышает биологическую ценность за счет облегчения усвоения. Гидролиз раскрывает гидрофобные группы, увеличивая поверхностную гидрофобность [61; 63].

Сравнительный анализ методов показывает, что выбор конкретной технологии зависит от типа сырья и требований к конечному продукту. Например, ферментативный гидролиз представляет особый интерес для переработки гороха и подсолнечного шрота. В отличие от ультрафильтрации, которая только концентрирует белок, или щелочной экстракции, вызывающей денатурацию, ферментативный гидролиз в мягких условиях позволяет одновременно повысить растворимость и эмульгирующие свойства, снизить содержание антинутриентов и нейтрализовать нежелательные растительные привкусы, сохраняя биологическую ценность белка и обеспечивая контролируемое улучшение функциональных характеристик.

### **1.3 Функционально-технологические свойства белков, полученных из растительного белковосодержащего сырья**

Растущий спрос на альтернативные источники белка стимулирует активное развитие производства аналогов мясной продукции на растительной основе. В связи с этим особую актуальность приобретает изучение ФТС растительных белков, поскольку именно они определяют поведение белковых систем в процессе переработки и формирование ключевых характеристик готового продукта.

На основе проведенного литературного анализа работ С. Н. Лебедевой и ее коллег [51], С. И. Хвыли и соавторов [74], М. Kumar и др. [109] была сформирована классификация физико-химических и функциональных свойств пищевых белков, разделяющая их на три основные группы по механизму действия:

– свойства, связанные с гидратацией (поглощение воды и масла, растворимость, загущение, смачиваемость);

– свойства, обусловленные структурой белка и реологическими характеристиками (вязкость, эластичность, адгезивность, агрегация, гелеобразование);

– свойства, определяемые поверхностными характеристиками белка (эмульгирование, пенообразование, образование белково-липидных пленок, взбиваемость).

К числу наиболее значимых ФТС также относят растворимость, способность связывать воду и жир, гелеобразующее и реологическое поведение, эмульгирующие и пенообразующие свойства [10]. Эти характеристики играют определяющую роль при разработке новых функциональных пищевых продуктов и могут влиять на биологическую активность белков и продуктов их переработки.

Белки представляют собой макромолекулы – линейные полимеры аминокислотных остатков, соединенных пептидными связями. В зависимости от способа экстракции они приобретают различные структурные, функциональные и питательные свойства, что определяет широту их промышленного применения [43].

Физико-химические характеристики белков (поверхностная гидрофобность, чистый заряд, наличие реакционноспособных групп) напрямую зависят от типа, количества, порядка и ориентации аминокислот, а также от уровня взаимодействия между ними. В свою очередь, такие ФТС, как гелеобразование, растворимость, термоустойчивость, эмульгирующая и пенообразующая способность, определяются условиями экстракции, размером и формой молекул, а также физико-химическими свойствами исходного сырья [51; 74]. Помимо этого, перечисленные факторы способны изменять характер взаимодействия белка с другими макро- и микромолекулами, влиять на результаты последующей технологической обработки, условия и сроки хранения, а также на широту использования и деградацию белка [76; 90].

Гидратационные свойства относятся к числу базовых ФТС и обусловлены аминокислотным составом белков, а именно соотношением полярных и неполярных, ионных и нейтральных аминокислот. Молекула воды, обладая биполярностью, способна активно взаимодействовать с полярными аминокислотами. Поэтому белки

с высоким содержанием полярных фракций характеризуются повышенной вододерживающей (ВУС) и водосвязывающей способностью (ВСС) [85].

Важно отметить, что на ВУС влияет не только наличие полярных и неполярных аминокислот, но и их пространственное расположение внутри молекулы [90]. В процессе сворачивания белковой глобулы гидрофильные аминокислоты обнажаются и выходят на поверхность, тогда как гидрофобные остатки стремятся в центр структуры. Соотношение гидрофобных и гидрофильных остатков на поверхности белковой молекулы, а также частота заряда непосредственно определяют растворимость белка в различных растворителях [17].

Высокая концентрация поверхностных гидрофобных аминокислот усиливает межмолекулярное взаимодействие белков, снижая их растворимость. Напротив, наличие заряженных аминокислотных остатков повышает взаимодействие белка с растворителем, увеличивая растворимость.

Помимо внутренних факторов, на ВУС и растворимость белков существенное влияние оказывают внешние условия: концентрация белка, рН среды, температура, ионная сила раствора, тип растворенных ионов и атмосферное давление [63; 17].

Вязкость характеризует сопротивление жидкости течению, обусловленное внутренним трением, тогда как гель представляет собой промежуточное состояние между твердым телом и жидкостью [93]. Эти свойства определяются степенью взаимодействия в системах «белок – белок» и «белок – растворитель» и зависят от молекулярных характеристик: массы, размера, формы, гибкости и гидратации белковых молекул.

Установлено, что белки, содержащие полярные аминокислотные остатки, способны образовывать прозрачные гели, тогда как наличие неполярных остатков приводит к формированию непрозрачных гелей [78; 144].

Способность белков к образованию эмульсий и пен (поверхностная активность) напрямую зависит от вида сырья и конформационных изменений, которые могут принимать белковые молекулы. На поверхностную активность влияют:

- стабильность и гибкость полипептидной цепи;
- адаптивность к изменениям окружающей среды;

– количество и характер распределения гидрофильных и гидрофобных аминокислотных остатков как в первичной структуре, так и на поверхности белка [84].

Эмульсионные и пенообразующие свойства также определяются балансом нековалентных взаимодействий: электростатического притяжения, водородных связей, ковалентных дисульфидных связей и гидрофобных взаимодействий [19; 88].

На конечные свойства продуктов на основе растительных белков, помимо внутренних факторов строения молекул, влияют технологические параметры: концентрация белка, pH среды, температура, ионная сила, тип ионов и давление.

Таким образом, для получения стабильных белковых продуктов, отвечающих требованиям потребителей, необходимо достижение баланса сил притяжения, отталкивания и гидратации белковых молекул. Широкий спектр ФТС растительных белков открывает перспективы их использования в различных направлениях пищевой промышленности, включая производство аналогов мясной продукции.

ФТС растительных белков непосредственно влияют на органолептические показатели, структурно-механические характеристики и стабильность пищевых систем. Понимание закономерностей их проявления необходимо для обоснованного выбора сырья и способов его предварительной обработки, прогнозирования поведения белковых композиций в составе готового продукта.

Несмотря на наличие данных о свойствах традиционных растительных белковых культур (соя, пшеница), потенциал многих перспективных источников (нут, горох, амарант, подсолнечник) остается недостаточно изученным. Кроме того, применяемые методы экстракции и модификации могут существенно изменять исходные свойства белков, что требует системной оценки их влияния на функционально-технологические характеристики конечного продукта.

Таким образом, исследование ФТС растительных белков является необходимым этапом, обеспечивающим научно обоснованный подход к созданию конкурентоспособных аналогов мясной продукции с высокими потребительскими свойствами [137].

## 1.4 Применение растительных белков в пищевой промышленности

Потребительский спрос на продукты на основе растительного белка в настоящее время оценивается как стабильно высокий, при этом прогнозируется его существенный рост в ближайшее десятилетие [111; 112]. Комплекс факторов, определяющих данную динамику, включает несколько разнонаправленных, но взаимосвязанных групп мотивов потребителей:

– факторы здоровья: потенциальные преимущества растительных диет для профилактики заболеваний, а также опасения, связанные с потреблением животных белков (повышенное содержание насыщенных жиров, холестерина);

– экологические факторы: осознание необходимости снижения нагрузки на окружающую среду, сокращения выбросов парниковых газов и уменьшения ресурсопотребления при производстве пищи;

– этические факторы: вопросы обращения с животными в промышленном животноводстве;

– психологические факторы: устойчивое восприятие белка как «положительного» нутриента, потребление которого ассоциируется со здоровьем (принцип «чем больше, тем лучше») [66; 86; 105].

Разнообразные ФТС растительных белков определяют широкий спектр их технологического применения. На рисунке 7 представлена систематизация современных направлений использования растительных белков в пищевой промышленности, отражающая их высокую технологичность и универсальность.

Физико-химические и функционально-технологические свойства пищевых белков и, следовательно, возможности их промышленного применения подвержены влиянию как внешних факторов среды (рН, температура, давление, ионная сила), так и технологических параметров обработки (ультразвук, облучение, термическая обработка, проращивание) [51; 139].

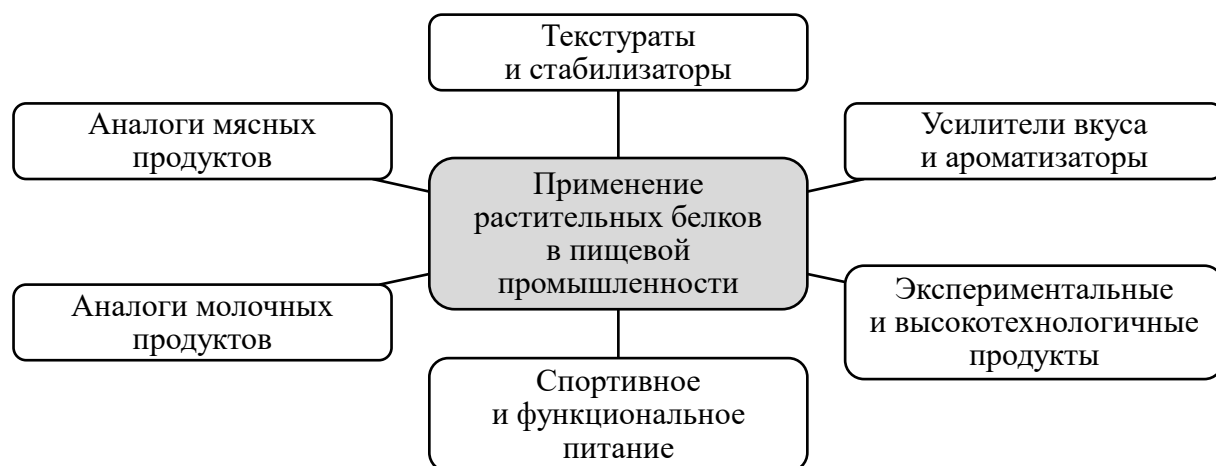


Рисунок 7 – Современные направления применения растительных белков

Ключевое значение имеет взаимосвязь структуры и функции белков, определяющая характер их межмолекулярных взаимодействий, а также взаимодействий с другими компонентами пищевых систем.

Наиболее изученной сырьевой базой для производства растительных белков является соя [26]. В частности, установлено, что изолят соевого белка демонстрирует минимальную эмульгирующую активность при рН 5,8 и максимальную – при рН 8,0 [57; 116]. Данная закономерность, как показано в работах Y. Malila с соавторами, коррелирует с увеличением растворимости белка при повышении рН [116].

Исследования горохового белка выявили аналогичные зависимости: минимальная эмульгирующая способность наблюдается в области изоэлектрической точки (рН 5,0), что сопровождается повышенной склонностью эмульсий к коалесценции и сливкообразованию. При этом эмульгирующая способность при рН 3,0 оказалась выше, чем при нейтральных (7,0) или щелочных (9,0) значениях.

Важным физико-химическим параметром, определяющим поверхностные функциональные свойства, является поверхностная гидрофобность. Установлено, что поверхностная гидрофобность очищенного легумина (одной из фракций горохового белка) при рН 7,0 почти вдвое превышает аналогичный показатель вицилина (2075 против 1005), что свидетельствует о значительно более высокой экспозиции гидрофобных кластеров у легумина [85].

Обобщенные данные о конкретных категориях продуктов, технологической роли растительных белков и достигаемых эффектах представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Направления применения растительного белка в пищевых продуктах [81; 98; 101; 114]

Категория продуктов	Виды продуктов	Технологическая роль	Достижимый эффект
Мясные аналоги	Растительные котлеты, фарш, колбасы, сосиски, наггетсы, стейки	Формирование волокнистой структуры при экструзии, связывание воды и жира	Имитация текстуры мышечной ткани, сочность, упругость
Молочные альтернативы	Растительное «молоко», йогурты, сливки, мороженое	Стабилизация эмульсии, повышение вязкости, гелеобразование	Кремообразная консистенция, однородность, отсутствие расслоения
Сыры на растительной основе	Веганские сыры (твердые, полутвердые, плавленые)	Обеспечение плавления, растяжимости, связывания жира	Схожесть с молочными сырами по органолептическим и текстурным характеристикам
Хлебобулочные изделия	Хлеб, булочки, кексы, печенье, крекеры	Обогащение белком, улучшение структуры теста, влагоудержание	Повышение пищевой ценности, улучшение текстуры, замедление черствения
Кондитерские изделия	Конфеты, шоколад, десертные кремы, зефир, пастила, батончики с высоким содержанием белка	Эмульгирование, пенообразование, структурообразование	Воздушность, стабильность пены, нежность консистенции
Спортивное питание	Протеиновые коктейли, батончики, смеси для восстановления	Высокое содержание лейцина, быстрая усвояемость	Стимуляция синтеза мышечного белка, восстановление после нагрузок
Напитки	Готовые к употреблению напитки, сухие смеси для напитков	Растворимость, стабилизация, нейтральный вкус	Прозрачность или однородность, отсутствие осадка, чистота вкуса
Эмульсионные продукты	Майонезы, соусы, заправки для салатов	Эмульгирующая активность, стабильность эмульсии	Устойчивость к расслоению, кремообразная текстура
Пенные продукты	Десертные муссы, взбитые сливки, безе	Пенообразование, стабильность пены	Устойчивая пенная структура, воздушность

Продолжение таблицы 4

Категория продуктов	Виды продуктов	Технологическая роль	Достижимый эффект
Продукты для детского и диетического питания	Смеси для энтерального питания, продукты прикорма	Гипоаллергенность, высокая усвояемость, сбалансированный аминокислотный состав	Безопасность для аллергиков, легкость усвоения, нутритивная поддержка
Продукты быстрого приготовления	Сухие завтраки, каши быстрого приготовления, сухие супы	Обогащение белком, улучшение регидратации	Повышение пищевой ценности, быстрое восстановление
Аналоги яиц	Растительные омлеты, яичные заменители	Гелеобразование, эмульгирование, пенообразование	Связывание компонентов, формирование текстуры
GLP-1-ориентированное питание	Продукты для контроля веса, высокобелковые перекусы	Высокое содержание белка, медленное переваривание	Повышение пищевой ценности, быстрое восстановление

Изолят горохового белка обладает комплексом ФТС, определяющих его востребованность в различных сегментах пищевой промышленности:

- эмульгирующие свойства. Белки гороха способны адсорбироваться на границе раздела несмешивающихся фаз, снижая межфазное натяжение и выступая в качестве эффективных стабилизаторов эмульсий [106; 118]. Их эмульгирующая активность проявляется как в нейтральных, так и в кислых условиях. Установлено, что эмульгирование при рН 7,0 с использованием изолята горохового белка приводит к образованию капель масла меньшего размера по сравнению с эмульгированием при других значениях рН;

- структурообразование. Текстурированный изолят горохового белка способен связывать ингредиенты, улучшая текстуру и стабильность структуры пищевых продуктов [112; 129]. Он особенно эффективен в продуктах, требующих формирования волокнистой и жевательной текстуры;

- реологические свойства. Благодаря способности выступать в качестве загустителя, изолят горохового белка увеличивает вязкость жидких сред и может улучшать вкусовое восприятие некоторых продуктов, а также способствовать увеличению срока годности готовых изделий;

– нутритивные преимущества. Изолят горохового белка не содержит глютена и лактозы, характеризуется высокой усвояемостью и низкой аллергенностью, что позволяет использовать его в рационах людей с особыми пищевыми потребностями [112].

В сравнении с гороховым и соевым белками белок подсолнечника представляет собой относительно новое направление использования растительного сырья в пищевой промышленности. Продукты переработки семян подсолнечника могут рассматриваться как универсальный ингредиент, представляющий интерес как для сторонников здорового образа жизни, так и для массового потребителя.

Высокие пищевые, биологические и физико-химические показатели белка подсолнечника обуславливают широкий спектр его технологического применения [119]. Благодаря высокому содержанию аминокислот он может быть использован в качестве ингредиента в хлебобулочных изделиях, мясных системах, протеиновых батончиках и хлопьях, оказывая благоприятное влияние на пищевые, биологические, технологические и сенсорные характеристики продукции.

Важной технологической особенностью является относительно небольшой размер частиц белка подсолнечника (после измельчения обезжиренного шрота) по сравнению с другими растительными белками, что может способствовать лучшей интеграции в пищевые матрицы.

Систематизированные данные о влиянии белка подсолнечника на характеристики различных пищевых продуктов представлены в таблице 5.

В исследованиях [126] показано, что частичная замена пшеничной муки на белок подсолнечного жмыха (в диапазоне от 5 % до 20 %) приводит к увеличению содержания белка в готовом хлебе (от 17,2 % до 377,6 %) и повышению активности ингибиторов трипсина (от 82 до 140 ПИУ/г). Критическим ограничением является необходимость соблюдения дозировки: замена более 10 % муки на белок подсолнечника вызывает ухудшение органолептических показателей за счет увеличения твердости мякиша и уменьшения объема готового продукта. Таким образом, оптимальной признана дозировка до 10 %, обеспечивающая улучшение пищевой ценности без негативного влияния на потребительские свойства.

Таблица 5 – Влияние белка подсолнечника на характеристики пищевых продуктов [116; 125]

Категория	Применение
Хлеб дрожжевой	Повышенное содержание белка (17,2–377,6 %) и ингибиторов трипсина (82–140 TIU/г)
Лепешки бездрожжевые	Повышенное содержание белка (22,7–55,9; 40,3–99,1 и 14,6–35,8 % соответственно), липидов (20,9–54,9; 3,8–20,9 и 4,6–25,4 % соответственно) и клетчатки (157,6–439,2; 203,3–951,6 и 201,4–415,1 % соответственно)
Печенье	Повышенное содержание белка (35,3–50,0 %), фенольных соединений (~42,8 % и 85,7 %), антиоксидантной способности (~166,7 % и 350 %) и твердости (22,6–30,0 %)
Маффины	Повышенное содержание белка (19,4–37,3 %) и золы (23,9–47,0 %), высота продукта, плотность пор и темный цвет. Снижение содержания углеводов (1,7–4,8 %) и эластичности (1,0–4,7 %)
Колбаса и мясные системы	Повышенное содержание белка (6,1–12,1 %), минеральных веществ (в основном магния (67,2–135,4 %), калия (26,8–37,3 %), меди (133,3–250 %) и марганца (200,0–383,3 %)), фенольных соединений (49,0–82,3 %) и жесткости (4,3–23,7 %). Снижение содержания липидов (37,1%–37,9 %)

Исследования G. T. Tonsor с соавторами [143] подтвердили перспективность обогащения мучных кондитерских изделий (тортов, печенья) белком подсолнечника. Преимуществом является высокое содержание в исходных продуктах сахаров и жиров при дефиците клетчатки, антиоксидантов и минеральных веществ. Внесение белка подсолнечника сопровождается изменением органолептических характеристик: печенье приобретает более темный, красноватый оттенок (менее выраженный желтый) и характеризуется повышенной твердостью [134; 143]. Сенсорные потери становятся значимыми при включении более 18 % ингредиента [123]. Частичная компенсация нежелательных изменений цвета возможна за счет использования дополнительных ингредиентов (какао-порошок, цельнозерновая мука).

Замена животного жира на белок подсолнечного шрота в мясных продуктах представляет значительный интерес для производителей, поскольку позволяет одновременно улучшить пищевую и биологическую ценность и снизить себестоимость продукции. Включение подсолнечного шрота в состав сосисок обеспечило:

- повышение содержания белка с 6,1 % до 12,1 %;
- увеличение содержания минеральных веществ (Mg, K, Cu, Mn);

- рост содержания фенольных соединений с 49,0 % до 82,3 %;
- снижение общего содержания жира с 37,1 % до 37,9 % [113].

На основе проведенного анализа сформулированы основные направления, определяющие наиболее эффективные технологические решения для обеспечения функциональности растительных белков в составе пищевых систем [69; 86; 133]:

- целенаправленный выбор сырья с учетом его аминокислотного профиля и соотношения белковых фракций (глобулинов, альбуминов, глютелинов);
- оптимизация условий экстракции и последующей модификации для достижения требуемых функциональных характеристик (растворимость, эмульгирующая способность, гелеобразование);
- учет влияния pH среды и ионной силы на поведение белков в конкретных пищевых матрицах;
- контроль дозировок при включении в рецептуры для сохранения приемлемых органолептических показателей;
- комбинирование различных источников растительного белка для достижения синергетического эффекта и компенсации технологических недостатков.

Таким образом, растительные белки представляют собой высокотехнологичные пищевые ингредиенты, обеспечивающие добавленную полезность пищевых систем и открывающие широкие возможности для разработки продуктов с заданными свойствами.

## **1.5 Анализ рынка растительных аналогов**

Альтернативными продуктами, или «альтфудом», принято называть аналоги традиционных продуктов животного происхождения, таких как мясо, молочные продукты, яйца и рыба, произведенные из растительного сырья, грибных культур, водорослей или созданные в лаборатории путем клеточного выращивания [87].

Разработка и внедрение таких альтернатив становятся все более востребованными. Растительные заменители отличаются пониженным содержанием насыщенных жиров, полным отсутствием холестерина и при этом могут быть сопоставимы с мясом по количеству белка.

Производство растительных белков характеризуется меньшим углеродным следом в сравнении с животными, поскольку предполагает выделение значительно меньшего количества парниковых газов и требует меньшего количества водных ресурсов. Так, для производства 1 кг говядины в среднем требуется 15 000 л воды, в то время как для 1 кг гороха или сои – 2 000–3 000 л [35]. При этом выращивание продуктов растительного происхождения требует меньшего количества времени, что в сочетании с возможностью их более длительного хранения в виде концентратов или изолятов позволяет формировать большой запас, обеспечивая население продуктами постоянного качества [94]. Соответствие растительных белков современным трендам и запросам потребителей благодаря высокими функциональным свойствам, отсутствию холестерина, меньшему количеству насыщенных жиров повышает интерес к их использованию в традиционных системах питания.

Однако создание растительных аналогов на первых этапах сопряжено с рядом технологических сложностей. Основная задача заключается в воспроизведении ключевых органолептических свойств – текстуры и вкуса, характерных для продуктов животного происхождения. Благодаря инновациям в области переработки и оригинальным рецептурным решениям качественные показатели таких продуктов продолжают улучшаться [115].

Белки играют важную роль в организме человека, в том числе для профилактики многих заболеваний. При этом растительные белки помогают снизить уровень холестерина, поддерживать здоровье костей, увеличивать мышечную массу и также удовлетворять необходимые потребности человека в белке в зависимости от задач. Таким образом, белки являются жизненно важным нутриентом в рационе человека для сохранения здоровья.

Анализ мировых продаж растительных белков и большое количество исследований, направленных на изучение способов их экстракции и модификации, сви-

детельствует о возможном росте общего количества производств. Анализ мирового рынка растительных белков и прогнозируемый рост растительных белков представлен на рисунке 8.

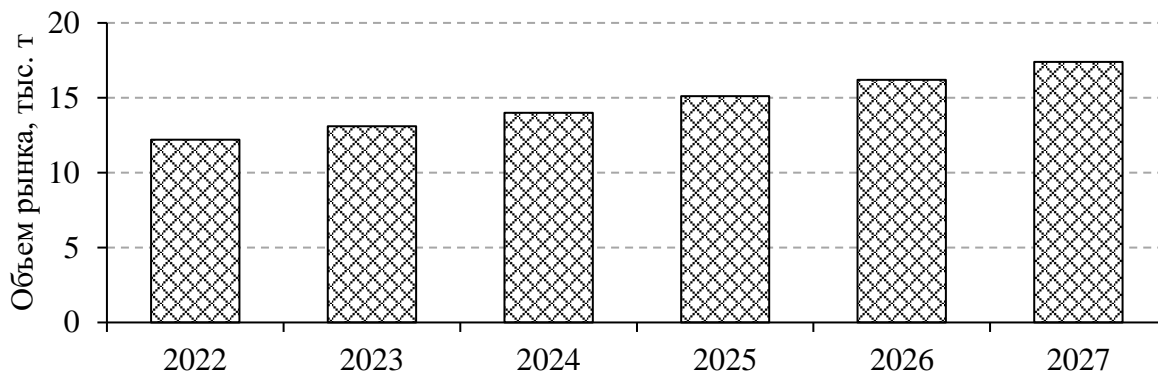


Рисунок 8 – Объем и прогноз динамики мирового рынка растительного белка до 2027 г. [7; 110]

По данным Ассоциации производителей альтернативных пищевых продуктов, в 2024 г. на Россию приходилось лишь около 1,8 % мирового рынка растительного мяса [7; 110]. Что касается растительного молока, то, по данным компании 5YES!, эта категория в России занимает около 1 % от всего объема молочного рынка, в то время как в развитых странах она достигает до 15 % [82].

Вместе с тем статистика NTech свидетельствует, что рынок альтернативных продуктов в России растет. В январе – сентябре 2025 г. его объем в денежном выражении по сравнению с аналогичным периодом 2024 г. вырос до 30,4 млрд р., или на 19,5 %, а в товарном – до 171,5 тыс. т, увеличившись на 13,1 % [140].

Стоит отметить, что, несмотря на низкий уровень популярности и использования растительных белков в производстве продукции на территории России, отмечается рост мирового рынка в сравнении с предыдущими периодами и его дальнейшее увеличение в течение семи лет благодаря изменению отношения потребителей к данным продуктам. Прогноз продаж растительных белков (по виду сырья) в мире до 2032 г. представлен на рисунке 9.

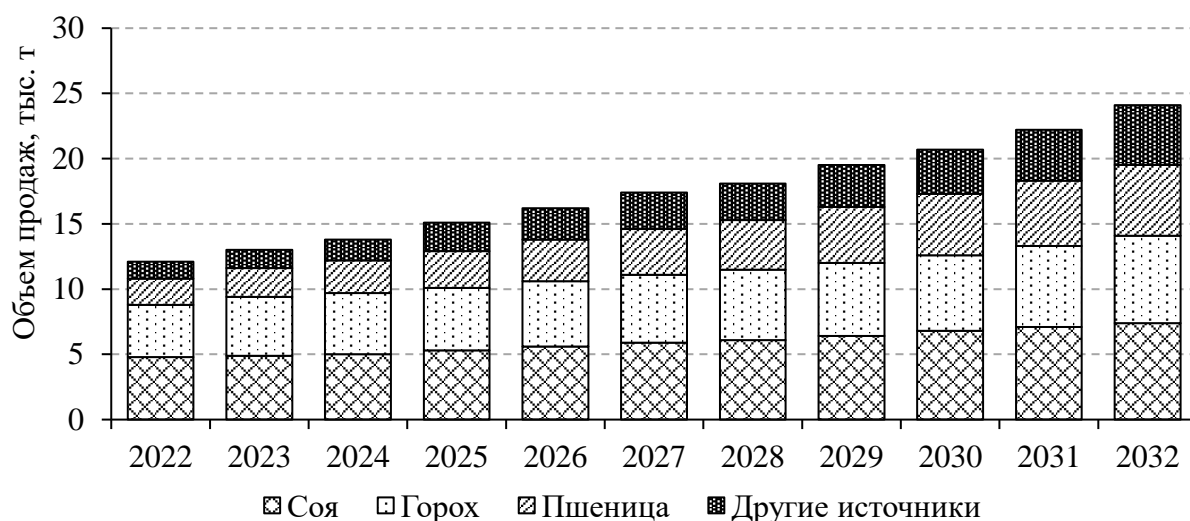


Рисунок 9 – Объем и прогноз динамики мировых продаж растительных белков (по виду сырья) до 2032 г. [39; 40; 110]

Прогнозируемый рост продаж растительных белков в мире говорит о том, что изучение технологий получения растительных белков и разработка ассортимента продуктов на их основе, позволяющие найти решения проблемы растущей потребности человека в белке, являются актуальной задачей.

Как правило, растительные белки лимитированы по одной или нескольким аминокислотам, в том числе незаменимым. Так, белки злаковых культур лимитированы по лизину и треонину, бобовых культур – по метионину и цистеину [6; 19].

На сегодняшний день лидирующую позицию на рынке среди концентратов и изолятов белков занимают соевый и пшеничный. При этом стоит отметить постепенный рост интереса потребителей и производителей различных специализированных продуктов к изолятам горохового, люпинового, льняного и нутового белка. Основными трендами, определяющим повышение спроса к белкам растительного происхождения, являются возросший интерес к вегетарианству, экологическая безопасность производства, универсальность и функциональность данных белков. Однако необходимо учитывать, что соевые протеины содержат так называемые антинутриенты, или антипитательные вещества. В составе сои есть ингибиторы протеазы – фермента, необходимого для переваривания белка, а также лектины – соединения, препятствующие усвоению питательных веществ [6; 4; 8]. Антипитательные

вещества являются одним из ключевых факторов, снижающих биодоступность различных компонентов сои и бобовых.

По показателю биологической ценности белки сои занимают лидирующие позиции и наиболее близки к белкам животного происхождения. При этом стоит отметить высокую усвояемость соевого белка и наличие в них части незаменимых для организма человека аминокислот.

При этом стоит отметить, что рост продаж веганских продуктов на территории России в период с 2019 по 2025 г. коррелирует с общемировыми данными, что подтверждает необходимость развития данного рынка, поиска новых источников и формирования более доступного ценового сегмента растительных продуктов, способных повышать заинтересованность потребителей во внедрении и использовании новых продуктов (рисунок 10).

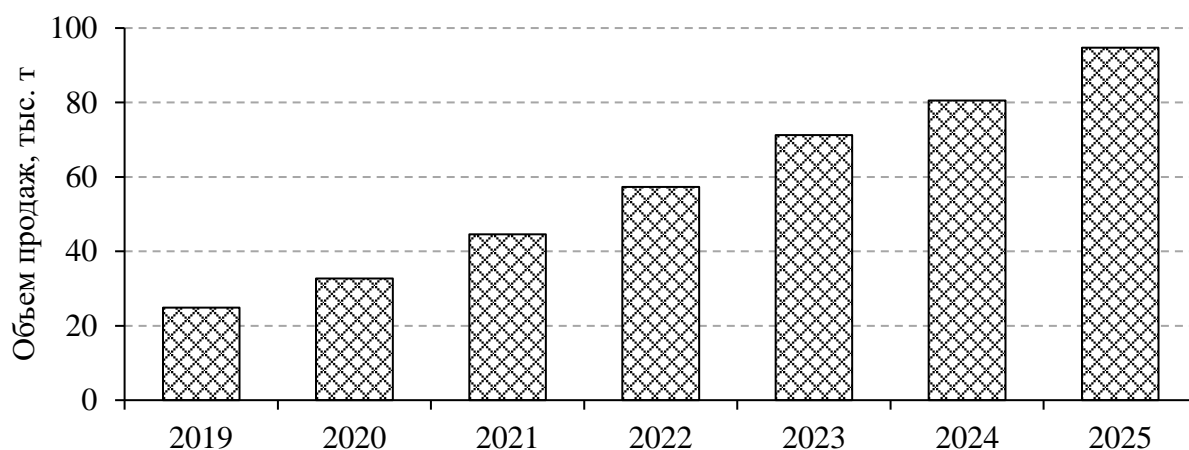


Рисунок 10 – Объем продаж веганских продуктов в России в 2019–2025 гг. [55; 64]

Так, согласно приведенным данным, продажи веганских продуктов увеличились в 3,8 раза с 24,9 до 94,7 тыс. т с ежегодными темпами прироста 19,65 % [66; 110]. Существенный рост продаж продуктов на растительной основе во многом обусловлен современными трендами на ответственное отношение к окружающей среде и здоровый образ жизни. При этом растительные аналоги не содержат гормоны роста, холестерин и антибиотики, что привлекает людей, следящих за здоровьем (таблица 6).

Таблица 6 – Физиологические преимущества растительных белков [66; 110]

Параметр	Животный белок (говядина)	Растительный белок
Усвояемость, %	90–95 (но тяжелый для ЖКТ)	85–90 (легкое усвоение)
Аминокислотный профиль	Полноценный	Полноценный при правильном комбинировании (например, горох + рис + подсолнечник)
Содержание жира, %	15–25	5–10
Холестерин	Присутствует	Отсутствует
Клетчатка	Нет	5–8 г на порцию
Витамины, минеральные вещества	В <sub>12</sub> , железо (гемовое)	В <sub>12</sub> (добавлен), железо (негемовое + витамин С для усвоения)

Согласно данным V. Borisova и др., замена 50 г красного мяса аналогами снижает уровень ЛПНП на 0,3 ммоль/л (95 %, доверительный интервал 0,25–0,35), систолическое давление на 3,2 мм рт. ст. (2,1–4,3) [86].

### Выводы по главе 1

Проведенный анализ научно-технической и патентной литературы показал, что проблема поиска альтернативных источников белка и разработки эффективных технологий его получения в настоящее время представляется актуальной задачей, имеющей важное значение для устойчивого развития пищевой промышленности. Рассмотренные в ходе обзора литературы аспекты промышленного получения белковых продуктов из растительного сырья и их функционально-технологические характеристики указывают на значительный потенциал растительных белков как важного пищевого ингредиента.

В последние несколько лет наблюдается развитие глобального тренда, связанного с ростом интереса к растительным белкам, что обусловлено не только изменяющимися потребительскими предпочтениями, но и необходимостью поиска альтернатив животным белкам. Основными преимуществами растительных белков

являются их доступность, низкая стоимость, возможность получения из разнообразного сырья, а также высокий потенциал переработки в широкий спектр продуктов питания.

Методы экстракции растительных белков, такие как водная экстракция, кислотный и щелочной гидролиз, ферментация, ультрафильтрация и сухое фракционирование, обеспечивают возможность получения белков различной чистоты и функциональных свойств. Однако оптимизация этих процессов с целью повышения их эффективности, экономичности и минимизации потерь пищевых веществ является в настоящее время актуальной задачей, требующей научных и технологических изысканий.

Анализ рынка растительных аналогов выявил устойчивую тенденцию роста спроса на альтернативные источники белка. Мировой рынок растительного белка демонстрирует ежегодный прирост на уровне 7–9 %, а объем продаж веганских продуктов в России за 2019–2025 гг. увеличился в 3,8 раза (с 24,9 до 94,7 тыс. т). Основными драйверами роста являются флекситаризм, экологические соображения, этические факторы и стремление к здоровому образу жизни. При этом доля России в мировом рынке растительного мяса составляет около 1,8 %, что свидетельствует о значительном потенциале импортозамещения и развития отечественного производства.

Важным направлением является разработка новых рецептур и технологий мясных аналогов, позволяющих не только улучшить вкус и текстуру конечных продуктов, но и повысить их пищевую и биологическую ценность, усвояемость и доступность для организма.

В ходе изучения научно-технической и патентной информации также установлено, что, несмотря на широкий спектр существующих подходов, вопросы направленного улучшения функциональных свойств растительных белков остаются недостаточно изученными. Так, в технологии получения горохового белка требуется решение проблем ограниченной растворимости и бобового привкуса, в то время как для подсолнечного белка актуальны вопросы эффективного удаления хлорогеновой кислоты и снижения горечи без потери пищевой ценности.

Таким образом, проведенный анализ подтверждает актуальность и обосновывает необходимость выполнения диссертационного исследования, цель которого заключается в разработке технологии и рецептур аналогов мясных рубленых изделий с использованием гидролизатов белка гороха и подсолнечного шрота, обладающих заданными ФТС и повышенной биологической ценностью.

## 2 Объекты и методы исследования

### 2.1 Организация проведения эксперимента

Теоретические и экспериментальные исследования выполнены в период с 2021 по 2025 г.

Исследование свойств сырья и готовых изделий, отработку образцов продукции общественного питания проводили в лабораториях кафедры технологии питания и Едином лабораторном комплексе ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет». Прикладные исследования выполняли на производственной базе ООО «Прайм Питание». Исследования проводили в 3–5-кратной повторности. Схема организации проведения исследований приведена на рисунке 11.

На первом этапе проведен аналитический обзор отечественной и зарубежной научно-технической и патентной литературы, рассмотрены аспекты промышленного получения белковых продуктов из растительного сырья и их функционально-технологические характеристики, указывающие на значительный потенциал растительных белков как важного компонента для устойчивого и инновационного развития пищевой промышленности. Дано обоснование роста интереса к растительным белкам, обусловленного не только изменяющимися потребительскими предпочтениями, но и необходимостью поиска экологически чистых и энергоэффективных альтернатив животным белкам, на основе чего показана актуальность исследования, сформированы цели и задачи диссертационной работы.

На втором этапе исследования проведен анализ растительного сырья (зерно гороха и шрот подсолнечника) и обоснован выбор ферментных препаратов и вспомогательных компонентов с учетом возможных вариаций их комбинирования в получении гидролизатов с различным содержанием белка. Дана оценка качества и ФТС полученных гидролизатов.



Рисунок 11 – Схема организации проведения экспериментальных работ

На третьем этапе обосновано применение полученных растительных гидролизатов в технологии продукции общественного питания с заданными потребительскими свойствами, представляющих собой аналоги мясных рубленых изделий. Показано, что разработанная продукция актуальна для людей, ведущих активный образ жизни и занимающихся различными видами спорта, рассматривающих полный отказ от продуктов животного происхождения или расширение собственного рациона.

На заключительном этапе проведена оценка качества и ФТС аналогов мясных рубленых изделий, установлены их регламентируемые показатели качества и сроки хранения. Разработана техническая документация (ТУ и ТИ), проведена промышленная апробация разработанных аналоговых мясных рубленых изделий

на технологической линии ООО «Прайм Питание» с последующим расчетом экономической эффективности.

## 2.2 Объекты исследования

Для каждого этапа в соответствии с поставленными целью и задачами объектами исследования являлись:

– сырье для получения белковых гидролизатов:

а) сухой цельный горох сортов «Самариус», «Сахарный 2», «Труженик», «Флагман 12», «Альфа» (Свердловская область, урожай 2023 г.);

б) шрот подсолнечника – вторичный продукт переработки семян подсолнечника при получении растительного масла (Свердловская область, 2024 г.);

– опытные образцы белковых гидролизатов, полученные путем ферментативного гидролиза с применением ферментных препаратов и вспомогательного сырья:

1) ГБГ – гидролизат белка, полученного из зерен гороха сорта «Самариус» (ГБГ-1 – водный гидролиз; ГБГ-2 – протеаза, лактат кальция; ГБГ-3 – протеаза, амилаза, лактат кальция);

2) ГБП – гидролизат белка, полученного из шрота подсолнечника сорта «НК Неома» (ГБП-1 – водный гидролиз; ГБП-2 – протеаза, лактат кальция; ГБП-3 – протеаза, целлюлаза, лактат кальция).

– модельные образцы мясо-растительных фаршевых пищевых систем;

– модельные образцы аналоговых фаршевых пищевых систем;

– готовые аналоги мясные рубленых изделий (образцы 2.1 и 2.2).

Для проведения гидролиза и получения гидролизатов растительного белка использовали ферментные препараты, представленные в таблице 7. Характеристика полученных растительных гидролизатов из семян гороха и подсолнечного шрота приведена в таблице 8.

Таблица 7 – Ферментные препараты и вспомогательные вещества, используемые для гидролиза растительного белка

Ферментный препарат	Характеристика	Основные вещества	Нормативный документ	Производитель
Амилаза	Светло-коричневый порошкообразный ферментный препарат, расщепляющий крахмал и гликоген	Ферменты класса гидролаз (энзимы)	ГОСТ 34440-2018. Ферментные препараты для пищевой промышленности [30]	Jiangsu Boli Bioproducts Co., Ltd.
Целлюлаза	Светло-коричневый порошкообразный ферментный препарат, катализирующий гидролиз целлюлозы	Ферменты класса гидролаз (энзимы)	ГОСТ Р 53046-2008. Препараты ферментные [32]	ООО «Торговый дом «Биопрепарат»
Лактат кальция	Белый кристаллический или аморфный порошок, кальциевая соль молочной кислоты	Кальций, молочная кислота (минеральная соль)	ГОСТ 31905-2012. Добавки пищевые [29]	ООО «Формула еды»
Протеаза	От светло-коричневого до коричневого порошкообразный ферментный препарат, катализирующий расщепление пептидных связей в белках	Ферменты класса гидролаз (энзимы)	ГОСТ 34440-2018. Ферментные препараты для пищевой промышленности [30]	ООО «Торговый дом «Биопрепарат»

Таблица 8 – Характеристика растительных гидролизатов из семян гороха и подсолнечного шрота

Наименование	Характеристика	Основные вещества
Гидролизат белка из семян гороха желтого [111]	Порошкообразный продукт, полученный путем ферментативного гидролиза предварительно измельченного зерна гороха с последующей сушкой	Высокое содержание глутаминовой, аспарагиновой кислот, аргинина, аланина, лизина
Гидролизат белка из подсолнечного шрота [113]	Порошкообразный продукт высушенного подсолнечного шрота, полученного с помощью ферментативного гидролиза предварительно обезжиренных и измельченных семян подсолнечника, с последующей сушкой	Высокое содержание глутаминовой, аспарагиновой кислот, аргинина, лейцина, метионина и цистеина

Для формирования текстуры и органолептических свойств готовых аналогов мясных продуктов использовали дополнительное сырье, характеристика которого представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристика дополнительного сырья

Наименование сырья	Характеристика	Основные вещества	Нормативный документ
Свекла	Корнеплод сорта «Бордо 237», свежий, неочищенный, сырой	Сахара (сахароза, глюкоза, фруктоза), клетчатка, бетаин, витамины (С, В <sub>9</sub> , Е, А), минеральные элементы (калий, магний, железо, цинк)	ГОСТ 32285-2013. Свекла столовая свежая, реализуемая в розничной торговой сети
Соевый текстурат	Высокобелковый продукт, получаемый из сои методом экструзии в мелком гранулированном виде (соевый фарш)	Растительный белок, пищевые волокна	ГОСТ 31388-2009. Продукты соевые пищевые. Технические условия
Мука овсяная	Порошкообразный продукт от светло-желтого цвета, получаемый путем помола высушенных овсяных семян. Произведен ООО «Хлебзернопродукт» (Россия, Ростовская обл., г. Таганрог)	Крахмал, растительный белок, пищевые волокна, витамины (В <sub>1</sub> , В <sub>2</sub> , В <sub>5</sub> , В <sub>6</sub> , Е), минеральные вещества (калий, кальций, магний, железо)	ТУ 10.61.22-695-2025. Мука овсяная
Лук репчатый	Лук репчатый сорта «Центурион (Centurion) F1», свежий, неочищенный, сырой	Эфирные масла, фитонциды, сахара, витамины (аскорбиновая кислота)	ГОСТ 34306-2017. Лук репчатый свежий. Технические условия

Для исследования полученных гидролизатов белка гороха и подсолнечника в составе модельных образцов пищевых систем в соответствии с разработанными рецептурами получены следующие образцы растительных аналоговых фаршей:

- АФГ – растительная аналоговая система на основе горохового гидролизата;
- АФП – растительная аналоговая система на основе гидролизата белка подсолнечного шрота;
- АФГС – растительная аналоговая система на основе смеси гидролизата белка гороха и соевого текстурата;
- АФПС – растительная аналоговая система на основе смеси гидролизата белка подсолнечного шрота и соевого текстурата.

Рецептура аналогов мясных полуфабрикатов представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Рецептура аналогов мясных полуфабрикатов

Рецептурный компонент	АФГ		АФП		АФГС		АФПС	
	Масса, г							
	Брутто	Нетто	Брутто	Нетто	Брутто	Нетто	Брутто	Нетто
Соевый текстурат	–	–	–	–	14,4	14,4	14,8	14,8
Гидролизат белка гороха	35,5	35,5	–	–	27,0	27,0	–	–
Гидролизат белка подсолнечного шрота	–	–	33,8	33,8	–	–	27,8	27,8
Молоко альтернативное (овсяное)	35,5	35,5	31,9	31,9	32,4	32,4	27,8	27,8
Мука овсяная	12,4	12,4	15,0	15,0	9,0	9,0	11,1	11,1
Свекла отварная	17,8	13,3	18,8	14,1	18,0	13,5	18,5	13,9
Лук репчатый	19,5	17,7	20,7	18,8	19,8	18,0	20,4	18,5
Масло растительное	5,3	5,3	5,6	5,6	5,4	5,4	5,6	5,6
Соль	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9	1,9
Перец черный молотый	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Жидкий дым	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Вустерский соус (веган)	1,8	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	1,9	1,9
<i>Выход полуфабриката</i>	–	125,0	–	125,0	–	125,0	–	125,0

Выработку лабораторных образцов осуществляли в соответствии со «Сборником технологических нормативов» 1996 г. [70] по модифицированной рецептуре биточков № 416 с помощью математического моделирования и замены продуктов животного происхождения.

Также использовали следующее вспомогательное сырье и материалы, в том числе приобретенные в розничной торговой сети г. Екатеринбурга:

- вода питьевая согласно СанПиН 2.1.3684-21;
- масло растительное «Олейна» по ГОСТ 1129-2013 и ГОСТ 18848-2019, производитель – ООО «Масленица» (Московская область);
- соль «Илецкая» по ГОСТ Р 51574-2018., производитель – ООО «Руссоль» (Оренбургская область);
- перец черный молотый «Индана» по ГОСТ 29050-91, производитель – ООО «Русская бакалейная компания» (Московская область);

– жидкий дым «Костровок» по ГОСТ 32049-2013, производитель – АО «Виртекс» (Новосибирская область);

– вустерский соус по ТУ 10.85.11-007-45477596-2023, производитель ООО «ТД «Роял Нат» (Ленинградская область);

– молоко питьевое альтернативное (овсяное) по ГОСТ 31450-2013, торговая марка «Nemoloko», производитель – АО «Сады Придонья» (Волгоградская область).

### 2.3 Методы исследования

При выполнении работы на разных этапах использовали общепринятые стандартные методы исследования. Повторность на всех этапах экспериментальных исследований 3- и 5-кратная.

На разных этапах оценку объектов исследования проводили по расширенному перечню показателей качества, представленных в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень показателей качества и нормативных документов для оценки качества объектов исследования

Показатель качества	Документ или источник, в соответствии с которым проводилось исследование	
	Зерна гороха	Подсолнечный шрот
Размеры, мм	ГОСТ 28674-2019 [24]	ГОСТ 11246-96 [21]
Наличие дополнительных примесей, %		
Содержание семян с механическими повреждениями, %		
Содержание семян, пораженных болезнями, %		
Гидролизат белка гороха и подсолнечного шрота		
Органолептические показатели (внешний вид, цвет, запах)	ГОСТ 15113.3-77 [22]	

Продолжение таблицы 11

Показатель качества	Документ или источник, в соответствии с которым проводилось исследование	
	Зерна гороха	Подсолнечный шрот
Физико-химические показатели		
Массовая доля влаги, %	ГОСТ 15113.4-2021 [23]	
Влагосвязывающая способность (ВСС), %	[38]	
Влагоудерживающая способность (ВУС), %	[38]	
Жирсвязывающая способность, %	[38]	
Эмульгирующая способность, %	[56]	
Гелеобразующая способность, %	[38]	
Определение аминокислотного состава	ГОСТ 10846-91 [20]	
Определение микробиологических показателей		
КМАФАнМ	МУК 4.2.2578-10 [68]	
БГКП	ГОСТ 31746-2012 [27]	
<i>Staphylococcus aureus</i> (золотистый стафилококк)	ГОСТ 31747-2012 [28]	
Сульфитредуцирующие клостридии	ГОСТ 29185-14 [25]	
Модельные образцы фарша аналога мясного продукта		
Органолептические показатели (внешний вид, цвет, запах)	ГОСТ 9959-2015 [31]	
Физико-химические показатели		
Содержание влаги, %	ГОСТ 15113.4-2021 [23]	
Влагосвязывающая способность, %	[37]	
Влагоудерживающая способность, %	[58]	
Эмульгирующая способность, %	[37]	
Потеря массы после термообработки, %	[38]	
Показатели безопасности	Степень токсичности на тест-культурах <i>Paramecium caudatum</i> , усл. ед.	
Проведение опроса оценки потребительских предпочтений		
Проведение опроса среди референтной группы потребителей	ГОСТ Р ИСО 20252-2014 [33]	

Оценку качества разработанных рецептов и опытных образцов готовых изделий осуществляли в ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» на базе Единого лабораторного комплекса и кафедры технологии пита-

ния. Апробацию гидролизатов растительного белка в составе аналоговых систем проводили в ООО «Прайм Питание» (г. Екатеринбург).

Для оценки зерен гороха и подсолнечного шрота применяли методы исследования, предусмотренные ГОСТ 28674-2019 «Горох. Технические условия» [24] и ГОСТ 11246-96 «Шрот подсолнечный. Технические условия» [21] по основным показателям, таким как размер зерен (мм), наличие дополнительных примесей (%), содержание семян с механическими повреждениями (%), содержание семян, пораженных болезнями (%).

**Гидролизаты растительного белка.** Для органолептического тестирования готовили 5 % белковую суспензию на питьевой воде с температурой 40–45 °С. В тестировании участвовало 7 чел., дескрипторы запаха и вкуса оценивали по пятибалльной шкале [31].

Оценку ВСС проводили методом определения количества воды, которое белок может удерживать в своей структуре без механического воздействия. Для этого 1 г белкового гидролизата смешивали с 10 мл дистиллированной воды, полученную суспензию инкубировали в течение 30 мин при 25 °С и перемешивали повторно через каждые 5 мин. Затем полученную суспензию переносили на предварительно взвешенный фильтр и давали стечь свободной воде. Полученный осадок взвешивали, рассчитывая ВСС в граммах воды на грамм белка.

Оценку ВУС проводили методом центрифугирования. Для этого 1 г исследуемого гидролизата растительного белка смешивали с 10 мл дистиллированной воды и тщательно гомогенизировали. Образцы инкубировали при комнатной температуре в течение 30 мин, затем центрифугировали при 4000 об/мин в течение 20 мин. Осадок высушивали и взвешивали, рассчитывая ВУС в граммах воды на грамм белка.

Определение жиросвязывающей способности проводили следующим образом. В центрифужные пробирки емкостью 50 мл помещали 5–7 г пробы белковых добавок и 25–30 г рафинированного подсолнечного масла. Смесь перемешивали в течение 1 мин со скоростью 1000–2000 об/мин и оставляли на 30 мин. Второй раз перемешивали 1 мин и опять оставляли на 5 мин. Затем смесь центрифугировали

при  $V = 4000$  об/мин в течение 15 мин. Взвешивали пробирку с маслом и измеряли объем масла, оставшегося неадсорбированным, и весь объем смеси. Отслоившееся масло сливали в мерный цилиндр и измеряли его объем. После этого центрифужную пробирку устанавливали в перевернутом положении на фильтровальную бумагу, чтобы дать стечь избытку масла.

Определение эмульгирующей способности проводили методом эмульгирования масла в белковой суспензии. Для этого навеску гидролизата массой  $(7,0 \pm 0,0001)$  г суспендировали в миксере в течение 60 с. Затем добавляли 100 мл рафинированного подсолнечного масла и эмульгировали в миксере в течение 5 мин. Полученную эмульсию разливали по четырем градуированным 18-центрифужным пробиркам вместимостью по  $50 \text{ см}^3$  и центрифугировали при 500 об/мин в течение 10 мин. Определяли объем эмульгированного масла.

Определение гелеобразующей способности проводили методом термогелеобразования. Белковые растворы различной концентрации (от 2 % до 10 %) нагревали на водяной бане при  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 30 мин, затем охлаждали при  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 12 ч. После охлаждения проводили тест на формирование стабильного геля путем переворачивания пробирки. Гелеобразующую способность оценивали по минимальной концентрации белка, при которой происходило образование стойкого геля.

Определение белка осуществляли по Кьельдалю согласно ГОСТ 10846-91, определение аминокислотного состава – методом газожидкостной хроматографии на хроматографе Agilent 1260 Infinity II в соответствии с СОП «Определение аминокислотного состава методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с предколоночной дериватизацией агентами ОРА и FMOC в пищевых продуктах» ИЦ ФГБНУ «ВНИИМП им. В. М. Горбатова». Суммарный аминокислотный состав определяли в гидролизатах после кислотного гидролиза продукта в стандартных условиях (24 ч при  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  в присутствии HCl). Идентификацию аминокислот осуществляли в сравнении со стандартными растворами. Условия гидролиза при проведении анализа не позволяют определить триптофан.

Растворимость белка определяли гравиметрическим методом по ГОСТ 7636-85. Навеску гидролизатов (белка гороха и подсолнечного шрота) смешивали с ди-

стиллированной водой и тщательно гомогенизировали для извлечения водорастворимой фракции. Полученную смесь центрифугировали при 3 000 об/мин в течение 15 мин для отделения нерастворимого остатка. Надосадочную жидкость декантировали, осадок количественно переносили в предварительно взвешенные бюксы и высушивали до постоянной массы при температуре 100–105 °С. Высушенный остаток охлаждали и взвешивали. Растворимость белка оценивали по массе сухого нерастворимого остатка и выражали в процентах к исходной массе белка в образце.

Определение степени гидролиза проводили спектрофотометрическим методом с использованием TNBS (тринитробензолсульфокислоты) по методу Adler-Nissen в модификации. Аликвоту гидролизата (0,125 мл) смешивали с 1 мл 0,1 % раствора TNBS и 1 мл фосфатного буфера (рН 8,2), инкубировали при 50 °С в течение 60 мин в темноте. Реакцию останавливали добавлением 2 мл 0,1М HCl и измеряли оптическую плотность при 340 нм. Содержание аминного азота определяли по калибровочному графику, построенному с использованием L-лейцина.

Прогнозирование активности используемых ферментов в технологии проведении общего гидролиза осуществляли с помощью базы данных биоактивных пептидов BIOPEP-UWM™. При работе с базой данных прогнозировали механизм воздействия ферментов на структуру белка. Для удобства записи белковых последовательностей используют однобуквенные сокращенные обозначения аминокислот.

Определение микробиологических показателей:

– КМАФАнМ (МУК 4.2.2578-10) – методика основана на количественном посеве навески продукта или его разведений на питательные агаризованные среды с последующей инкубацией при 30–37 °С в течение 24–48 ч. На основе подсчета выросших колоний оценивают общую микробную обсемененность;

– БГКП (колиформные бактерии, бактерии группы кишечной палочки) определяли посевом на агаризованные селективно-диагностические среды по ГОСТ 31747-2012, а *Staphylococcus aureus* (золотистый стафилококк) – по ГОСТ 31746-02012;

– сульфитредуцирующие клостридии по ГОСТ 29185-14, оговаривающем метод выявления сульфитредуцирующих бактерий, растущих в анаэробных условиях, и определения их количества путем посева продукта в плотные питательные среды.

**Аналоговые фаршевые системы.** Для органолептической оценки аналоговых растительных фаршей использовали пятибалльную шкалу с учетом коэффициентов весомости по ГОСТ Р 57853-2017 «Услуги торговли. Дегустация пищевой продукции на предприятиях розничной торговли. Общие требования».

Содержание влаги в сырых образцах аналоговых растительных фаршей определяли высушиванием навески изделий при температуре 130 °С в течение 40 мин до постоянной влажности.

ВСС определяли методом прессования, который основан на выделении воды из образца при легком его прессовании. Количество отделившейся влаги определяли по площади пятна, оставляемого ею на фильтровальной бумаге, при этом 1 см<sup>2</sup> площади влажного пятна фильтра соответствует 8,4 мг воды. Массовую долю связанной влаги вычисляли по формуле

$$CB = \frac{(A - 8,4B) \cdot 100}{A}, \quad (1)$$

где СВ – массовая доля связанной влаги, % к общей влаге; А – общая масса влаги в навеске, мг; В – площадь влажного пятна, мг.

ВУС определяли как разность между содержанием влаги в фарше и количеством влаги, отделившейся в процессе термической обработки, по формуле

$$ВУС = В - ВСС, \quad (2)$$

где В – общая массовая доля влаги в образце; ВСС – потери влаги при термической обработке.

Эмульгирующую способность (ЭС) определяли методом, основанным на гомогенизировании суспензии растительного аналогового фарша с добавлением растительного масла с последующим центрифугированием, по формуле

$$ЭС = \frac{V_1}{V} \cdot 100, \quad (3)$$

где  $V_1$  – объем эмульгированного масла, см<sup>3</sup>;  $V$  – общий объем масла, см<sup>3</sup>.

Определение показателей безопасности проводили по ГОСТ 31674-2012 с помощью автоматизированного аппаратно-программного комплекса «БиоЛат» на тест-организмах – инфузориях вида Парамеция (*Paramecium caudatum*) путем подсчета количества выживших простейших в лунках с помощью программы AutoCiliata сразу после подсаживания их в исследуемые растворы и через 2 ч после начала исследования. Степень токсичности исследуемого продукта определяли по таблице 12.

Таблица 12 – Степень токсичности исследуемого продукта

Степень токсичности продукта	Выживаемость инфузорий, %
Нетоксичный	90–100
Слаботоксичный	50–89
Токсичный	0–49

Расчет коэффициента выживаемости инфузорий  $K_1$  производили также автоматически по формуле

$$K_1 = \frac{N_1}{N_2}, \quad (4)$$

где  $N_1$  – количество живых инфузорий после экспозиции в пробе;  $N_2$  – количество живых инфузорий до начала этапа опыта.

**Готовые растительные аналоговые изделия.** Органолептическую оценку готовых образцов аналоговых растительных котлет осуществляли с помощью пятибалльной шкалы с учетом коэффициентов весомости по ГОСТ Р 57853-2017 «Услуги торговли. Дегустация пищевой продукции на предприятиях розничной торговли. Общие требования».

Потери массы (ПМ) после термообработки определяли как разницу между массой исходного продукта и потерей массы в процессе термической обработки:

$$\text{ПМ} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100, \quad (5)$$

где  $m_0$  – масса продукта до термообработки, г;  $m_1$  – масса продукта после термообработки.

Опрос с целью определения потребительских предпочтений в отношении растительных белков и их внедрения в рацион проводили в феврале 2025 г. через Google Forms и социальные сети (Telegram, «ВКонтакте») среди 150 респондентов. Количественные данные анализировали с помощью подсчета процентов и средних значений, качественные – методом контент-анализа. В качестве основного инструмента для обработки и визуализации выступал Microsoft Excel.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывали с использованием пакета программ статистического анализа Statistica 10. Для оценки значимости различий между выборками с распределением, приближающимся к нормальному, использовали  $t$ -критерий Стьюдента. Критический уровень значимости  $P$  при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

### **3 Получение и оценка качества гидролизатов из растительного белковосодержащего сырья**

#### **3.1 Характеристика белковосодержащего сырья, используемого для получения растительных гидролизатов**

Горох (*Pisum sativum*) и подсолнечник (*Helianthus annuus*) являются важными сельскохозяйственными культурами, которые, помимо основных продуктов (зерно и масло), предоставляют ценное сырье для получения растительных белков [145]. Так, подсолнечный шрот – вторичный сырьевой ресурс, остающийся после получения подсолнечного масла, представляет собой перспективный ресурс для получения растительного белка. Согласно оценкам Масложирового союза России, ежегодное производство подсолнечного шрота в России составляет от 8,5 до 10,5 млн т [39; 72]. При этом общее содержание белка в нем достигает 35–45 %, а после дополнительной обработки (очистка от оболочки, обесцвечивание) может быть получен концентрат белка с содержанием до 60–70 %, обладающий высокими эмульгирующими и водоудерживающими свойствами, что делает его перспективным ингредиентом для мясных, молочных и хлебобулочных изделий.

Высокая степень разнообразия сортов гороха и подсолнечника позволяет выбрать сорт с наибольшим содержанием белка в составе и получить белковый продукт с высоким содержанием белка и биологической ценностью.

Согласно данным Министерства АПК и потребительского рынка Свердловской области, в 2023 г. урожай гороха вырос более чем в 2 раза и составил около 16–17 тыс. т, при этом общая урожайность гороха в регионе находилась на уровне 22–23 ц/га [77].

Таким образом, развитие направлений в области технологий глубокой переработки (получение концентратов растительного белка и других продуктов на его

основе) на региональном уровне позволит достигнуть сохранности продовольственных ресурсов на территории Российской Федерации и расширить рынок растительных белков [86]. Данное решение согласуется со Стратегией повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. и является весьма актуальным для достижения Целей устойчивого развития экономики региона [17].

На первом этапе исследований подтверждена доброкачественность зерен гороха и подсолнечного шрота: содержание посторонних примесей, доля сорной примеси, испорченных и проросших зерен гороха (таблица 13).

Таблица 13 – Результаты оценки доброкачественности зерна гороха и подсолнечного шрота

Показатель	Горох						Подсолнечный шрот	
	Требования ГОСТ 28674-2019	Фактическое значение, %					Требования ГОСТ 11246-96	Фактическое значение, %
		Самариус	Труженик	Сахарный 2	Флагман 12	Альфа		
Влажность	Не более 15,0	10,5 ± 0,5	10,6 ± 0,2	11,3 ± 0,3	12,4 ± 0,5	9,4 ± 0,2	7–10	9,1 ± 0,2
Сорная примесь	Не более 1,0	0,4	0,5	0,2	0,8	0,5	Не допускается	Не обнаружено
Испорченные семена гороха	Не более 0,4	–	0,1	–	–	0,1	–	–
Проросшие семена	Не более 1,0	0,5	0,2	0,4	0,4	0,5	–	–

Установлено, что все проанализированные образцы сырья по всем контролируемым показателям соответствуют ГОСТ 28674-2019 [24] и ГОСТ 11246-96 [21]: Исходное сырье имеет стандартное качество и может использоваться для проведения исследований по получению белковых концентратов.

Выбор растительных продуктов в системе получения гидролизатов основан на общем аминокислотном составе, характеризующем их общую пищевую и биологическую ценность. Анализ аминокислотного состава гороха различных сортов представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнительный анализ аминокислотного состава гороха различных сортов [12]

Аминокислота	Анализируемый сорт	Сравнительные сорта			
	Самариус	Труженик	Сахарный 2	Флагман 12	Альфа
Содержание белка, % от сухого вещества	26–28	22–25	20–23	25–27	24–26
Незаменимые аминокислоты					
Валин	1,28 ± 0,07	1,14 ± 0,06	1,08 ± 0,06	1,23 ± 0,07	1,18 ± 0,06
Изолейцин	1,13 ± 0,06	0,98 ± 0,05	0,93 ± 0,05	1,08 ± 0,06	1,03 ± 0,06
Лейцин	1,88 ± 0,09	1,72 ± 0,09	1,68 ± 0,08	1,83 ± 0,09	1,77 ± 0,09
Лизин	1,83 ± 0,09	1,54 ± 0,08	1,57 ± 0,08	1,71 ± 0,09	1,68 ± 0,08
Метионин	0,31 ± 0,03	0,24 ± 0,03	0,22 ± 0,03	0,28 ± 0,03	0,27 ± 0,03
Треонин	1,08 ± 0,06	0,84 ± 0,05	0,88 ± 0,05	1,03 ± 0,06	0,96 ± 0,05
Триптофан	0,29 ± 0,03	0,16 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,26 ± 0,03	0,23 ± 0,03
Фенилаланин	1,28 ± 0,07	1,03 ± 0,6	1,09 ± 0,06	1,23 ± 0,07	1,18 ± 0,06
Заменимые аминокислоты					
Аргинин	2,28 ± 0,11	2,13 ± 0,11	2,03 ± 0,10	2,22 ± 0,11	2,15 ± 0,11
Аспарагиновая кислота	2,84 ± 0,14	2,56 ± 0,13	2,46 ± 0,12	2,74 ± 0,14	2,65 ± 0,13
Глутаминовая кислота	4,37 ± 0,20	4,8 ± 0,20	3,97 ± 0,20	4,26 ± 0,20	4,15 ± 0,20
Глицин	1,18 ± 0,06	1,04 ± 0,06	0,98 ± 0,05	1,14 ± 0,06	1,07 ± 0,06
Серин	1,18 ± 0,06	1,03 ± 0,06	0,96 ± 0,05	1,13 ± 0,06	1,08 ± 0,06
Цистин	0,26 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,20 ± 0,03	0,24 ± 0,03	0,22 ± 0,03

Анализ аминокислотного состава различных сортов гороха показал незначительные различия, что не влияет на их пригодность для дальнейшего получения гидролизатов белка.

Так, сорт «Самариус» демонстрирует наибольшее содержание белка (26–28 %) и незаменимых аминокислот, включая лизин (67,78 мг/100 г) и метионин + цистеин (21,11 мг/100 г), что делает его оптимальным для исследований, направленных на изучение полноценности белка. «Флагман 12» (белок 25–27 %) характеризуется высоким уровнем лизина и аминокислот с разветвленными цепями, обеспечивая универсальность и стабильность для широкого спектра применения. Сорта «Альфа» и «Труженик» отличаются повышенным содержанием заменимых аминокислот, таких как глутаминовая кислота (до 4,8 г/100 г). «Сахар-

ный 2» (белок 20–23 %) уступает по содержанию метионина и общего белка, но богат аргинином (1,90–2,05 г/100 г).

Далее проведена оценка аминокислотного сора исследуемого образца в соответствии с концепцией «идеального» белка ФАО/ВОЗ (таблица 15).

Таблица 15 – Анализ аминокислотной сбалансированности гороха различных сортов

Сорт	Средний белок, %	Аминокислота	Содержание, г/100 г	«Идеальный» белок ФАО/ВОЗ, г/100 г	Содержание в белке, мг/г	Аминокислотный скор, %
Самариус	27,0	Метионин + цистеин	0,57	2,5	21,11	84,4
		Триптофан	0,29	1,1	10,74	97,6
Труженик	23,5	Метионин + цистеин	0,45	2,5	19,15	76,6
		Триптофан	0,16	1,1	6,81	61,9
Сахарный 2	21,5	Метионин + цистеин	0,42	2,5	19,53	78,1
		Триптофан	0,18	1,1	8,37	76,1
Флагман 12	26,0	Метионин + цистеин	0,52	2,5	20,00	80,0
		Триптофан	0,26	1,1	10,00	90,9
Альфа	25,0	Метионин + цистеин	0,49	2,5	19,60	78,4
		Триптофан	0,23	1,1	9,20	83,6

На основе представленных данных можно утверждать, что лимитирующими у анализируемых сортов гороха являются серосодержащие аминокислоты (метионин + цистин), что типично для бобовых культур.

При этом сорт «Самариус» характеризуется высоким аминокислотным скором по лимитирующим аминокислотам, что говорит о его наибольшей схожести с эталонным белком и наибольшей сбалансированности.

Стоит отметить, что анализируемые сорта являются отличными источниками лизина и триптофана (аминокислотный скор более 150 %), однако требуют комбинирования с другими источниками белка, богатыми метионином (злаки, орехи, продукты животного происхождения), что позволит достичь максимальной биологической ценности готового рациона или продукта. Так, наибольшим содержанием белка в сухом веществе среди анализируемых сортов отличается «Самариус» (26–28 %).

Таким образом, горох сорта «Самариус» выбран для дальнейших исследований по получению концентрата растительного белка, требующих высокого уровня незаменимых аминокислот и белковой ценности.

Результаты анализа аминокислотного состава шрота подсолнечника, выбранного в качестве второго объекта исследования, представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Аминокислотный состав подсолнечного шрота [83]

Аминокислота	Содержание белка, % от сухого вещества	Аминокислота	Содержание белка, % от сухого вещества
Незаменимые аминокислоты		Заменимые аминокислоты	
Валин	1,48 ± 0,08	Аргинин	2,51 ± 0,12
Изолейцин	1,32 ± 0,07	Аспарагиновая кислота	2,84 ± 0,14
Лейцин	2,08 ± 0,10		
Лизин	1,21 ± 0,09	Глутаминовая кислота	4,98 ± 0,20
Метионин	0,74 ± 0,06	Глицин	1,63 ± 0,08
Треонин	1,12 ± 0,07	Серин	1,32 ± 0,07
Фенилаланин	1,59 ± 0,08	Цистеин	0,21 ± 0,04

Анализ аминокислотного состава подсолнечного шрота выявил, что данный продукт хотя и является вторичным сырьем маслоперерабатывающей промышленности, но характеризуется высоким содержанием белка (40–45 %) и незаменимых аминокислот, включая лизин (1,21 ± 0,09) г/100 г и лейцин (2,08 ± 0,10) г/100 г, что характеризует его как хороший сырьевой ресурс для исследований.

Далее проведена оценка аминокислотного сора исследуемого образца в соответствии с концепцией «идеального» белка ФАО/ВОЗ (таблица 17).

Таблица 17 – Аминокислотная сбалансированность белка из подсолнечного шрота

Показатель	Лизин	Лейцин	Метионин + цистин
Содержание, г/100 г	1,21	2,08	0,95
«Идеальный» белок ФАО/ВОЗ, г/100 г	5,8	6,6	2,5
Содержание в белке, мг/г	28,5	48,9	22,4
Аминокислотный скор, %	49,1	74,1	89,4
Средний белок, %	42,5		

Анализ аминокислотной сбалансированности подсолнечного шрота показывает относительно неравномерный профиль. Так, наибольший дефицит наблюдается по лизину, скор которого составляет 49,1 %, что делает данную аминокислоту первой лимитирующей. Показатель по лейцину также не достигает идеального значения (скор 74,1 %), в то время как сумма серосодержащих аминокислот (метионин + цистин) наиболее близка к эталону ФАО/ВОЗ (скор 89,4 %). Таким образом, для эффективного использования белка подсолнечного шрота в рационах необходима его комбинация с другими источниками белка, богатыми лизином.

### **3.2 Обоснование применения ферментных препаратов и лактата кальция в технологии получения гидролизата белка гороха и подсолнечного шрота**

Ферментативный гидролиз является эффективным способом модификации структуры и свойств растительных белков, позволяющим улучшить их технологические характеристики [75]. Выбор конкретных ферментных препаратов и вспомогательных компонентов определяется природой перерабатываемого сырья и задачами, стоящими при получении гидролизатов с заданными свойствами. Так, для гидролиза белков гороха и подсолнечного шрота использование протеазы «Протозим Н» в сочетании с дополнительными ферментами (амилазой для гороха, целлюлазой для подсолнечника) и лактатом кальция позволяет достичь высокой степени гидролиза, удалить балластные вещества и получить продукты с улучшенными ФТС.

Протеаза «Протозим Н» (ООО «ТД «Биопрепарат», активность 50 000 ед/г) является основным компонентом в обоих технологических схемах [60]. Ее действие направлено на расщепление сложных белковых комплексов, характерных для растительного сырья. При гидролизе гороха протеаза разрушает глобулярные белки – леугмин и вицилин, что приводит к повышению растворимости белковых фракций и облегчает их переход в экстракт. Одновременно снижается молекуляр-

ная масса белков, уменьшается их агрегация, что улучшает фильтруемость растворов. Стоит отметить, что протеаза также способствует инактивации антипитательных веществ, таких как ингибиторы трипсина, способные в нативном состоянии препятствовать полноценной экстракции белка [53]. В случае подсолнечного шрота протеаза гидролизует основные запасные белки – глобулины 11S и 7S, повышая их растворимость, особенно в щелочной среде (рН 8–9), а также способствует снижению активности ингибиторов протеаз, присутствующих в этом сырье [127]. В результате применения протеазы выход белка увеличивается на 15–25 % по сравнению с гидролизом без использования ферментных препаратов.

Для подтверждения эффективности выбора проведено сравнение кинетических характеристик препарата «Протозим Н» с альтернативными протеазами. Определены константы Михаэлиса ( $K_m$ ) для гидролиза белков гороха и подсолнечного шрота с различными ФП. Установлено, что у «Протозима Н» значение  $K_m$  для белка гороха и подсолнечного шрота составляет  $14,8 \cdot 10^{-7}$  и  $16,2 \cdot 10^{-7}$  моль/дм<sup>3</sup> соответственно, что на 23 % и 25 % ниже, чем для препарата сравнения (Protamex), и свидетельствует о более высоком сродстве фермента к субстрату (таблица 18).

Таблица 18 – Кинетические характеристики гидролиза белков гороха различными протеазами

Ферментный препарат	Производитель	$K_m, \cdot 10^{-7}$ моль/дм <sup>3</sup>		$V_{max}$ , мкмоль/мин · мг	
		Горох	Шрот	Горох	Шрот
Протозим Н	«Биопрогресс», Россия	$14,8 \pm 0,3$	$16,2 \pm 0,4$	$2,45 \pm 0,05$	$2,12 \pm 0,05$
Protamex	Novozymes, Дания	$19,2 \pm 0,4$	$21,5 \pm 0,5$	$1,98 \pm 0,04$	$1,75 \pm 0,04$
Flavourzyme, 1000 L	Novozymes, Дания	$22,6 \pm 0,5$	$24,8 \pm 0,6$	$1,62 \pm 0,03$	$1,48 \pm 0,03$

Более низкое значение  $K_m$  для «Протозим Н» указывает на его более высокую эффективность при умеренных концентрациях субстрата, что имеет практическое значение для снижения расхода фермента и себестоимости процесса.

Специфика перерабатываемого сырья обусловила необходимость использования дополнительных ферментных препаратов для повышения эффективности извлечения белка и улучшения качества конечного продукта.

Для зерна гороха применяли ферментный препарат амилазу ВАА-400 (Jiangsu Boli Bioproducts CO., Ltd, активность 8 000 ед. АС/см<sup>3</sup>), поскольку зерна этой культуры содержат значительное количество крахмала (40–60 %). Гидролиз крахмала до мальтозы и глюкозы позволяет существенно снизить вязкость экстракционных растворов, что облегчает доступ протеазы к белковым субстратам и повышает эффективность ее действия. Проведенные ранее исследования [11] позволили установить оптимальную дозировку амилазы в технологии получения гидролизата из зерна гороха – 0,5 %. Стоит отметить, что удаление крахмала на первой ступени гидролиза способствует стандартизации процесса и улучшению органолептических показателей конечного продукта благодаря снижению растительного тона и общей горечи.

Для подсолнечного шрота, где основным балластным компонентом является клетчатка (целлюлоза, гемицеллюлозы), использовали целлюлазу (ООО «Торговый дом «Биопрепарат», активность 10000 (Сх) ед/г). Данный фермент разрушает клеточные стенки, обеспечивая доступ протеазы к внутриклеточным белкам и увеличивая выход целевого продукта на 15–30 %. Снижение вязкости суспензии благодаря применению целлюлазы на первой ступени гидролиза облегчает последующие стадии разделения (фильтрацию, центрифугирование) и способствует улучшению растворимости, эмульгирующих и пенообразующих способностей конечного продукта. В ранее проведенных исследованиях было установлено, что оптимальная дозировка целлюлазы для подсолнечного шрота составляет 1,0 % [11].

Применение лактата кальция в технологии получения гидролизатов белка гороха и подсолнечного шрота позволяет:

- осаждать белки в изоэлектрической точке (рН 4,5–5,5) за счет взаимодействия ионов кальция с карбоксильными группами белковых молекул. Это повышает эффективность выделения белка на 15–20 % и облегчает отделение осадка центрифугированием или фильтрацией [83; 101];

- улучшать органолептические свойства гидролизатов: для гороха снижает интенсивность исходного растительного вкуса без появления посторонних привкусов; для подсолнечного шрота связывает хлорогеновую кислоту, предотвращая ее

окисление и образование темноокрашенных соединений, что уменьшает горечь и обеспечивает более светлый цвет продукта [16; 83; 142];

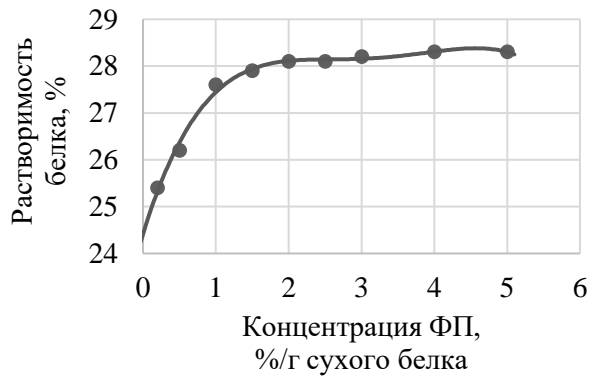
– стабилизировать белковую структуру, улучшая такие функциональные свойства, как влагоудерживающая способность и гелеобразование [18; 2021].

Для определения оптимальных условий гидролиза использовали методы математического планирования эксперимента. В качестве выходных параметров рассматривали степень гидролиза и массовую долю белка в гидролизате. Варьируемыми факторами выступали концентрация протеазы (% от массы субстрата), продолжительность гидролиза (ч), температура (°C) и pH среды.

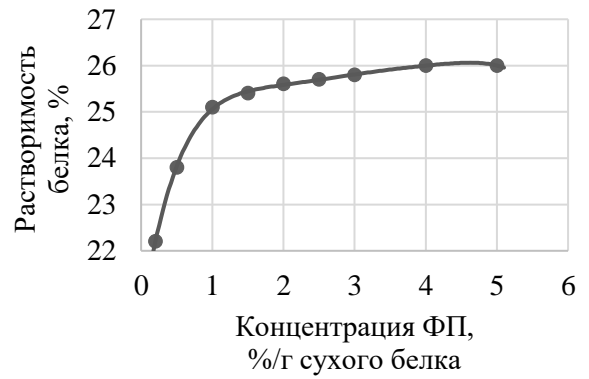
На рисунке 12 представлены результаты поверхностного отклика, характеризующие зависимость степени гидролиза белков гороха от концентрации протеазы и продолжительности процесса.

Согласно представленным на рисунках данным, установлены аналогичные гороху закономерности влияния технологических параметров на степень гидролиза белков подсолнечного шрота. Увеличение концентрации протеазы и продолжительности процесса закономерно повышает степень гидролиза, однако при достижении значений концентрации ферментных препаратов 1,2–1,5 % и времени 4–5 ч наблюдается замедление прироста целевого показателя, что обусловлено исчерпанием доступных пептидных связей, а также возможным ингибированием фермента продуктами реакции и наличием в подсолнечном шроте полифенольных соединений (хлорогеновой кислоты), способных взаимодействовать с белками.

Анализ влияния гидромодуля показывает наличие оптимального интервала (1:8–1:10), позволяющего достичь максимальной степени гидролиза; отклонение от указанного интервала приводит к снижению эффективности процесса вследствие ограничений массопереноса при недостатке воды либо разбавления субстрата при ее избытке. Полученные зависимости позволяют выбрать рациональные режимы гидролиза подсолнечного шрота: концентрация протеазы 1,5 % от массы субстрата, гидромодуль 1:10, продолжительность 4–5 ч, что обеспечивает степень гидролиза не менее 18–20 % и высокое содержание белка в конечном продукте.

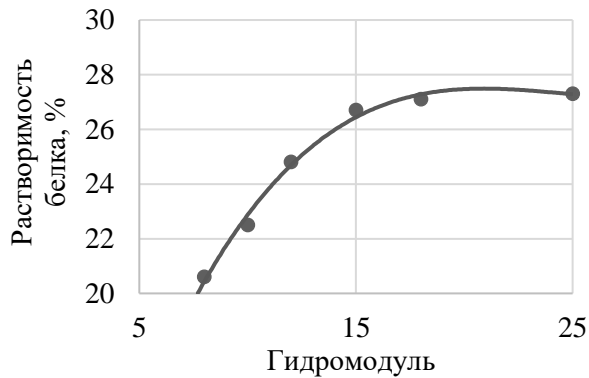


Зерна гороха

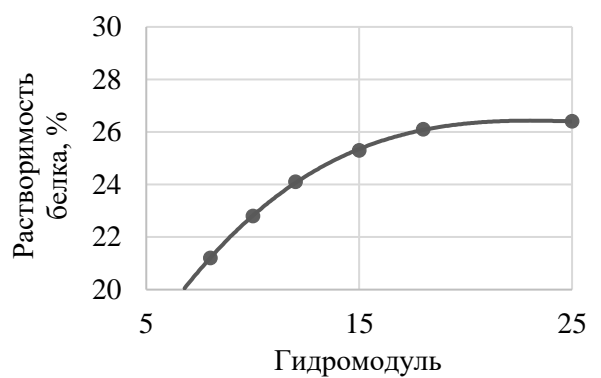


Подсолнечный шрот

a

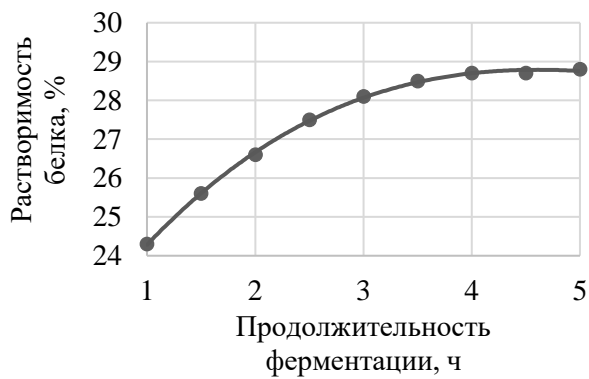


Зерна гороха

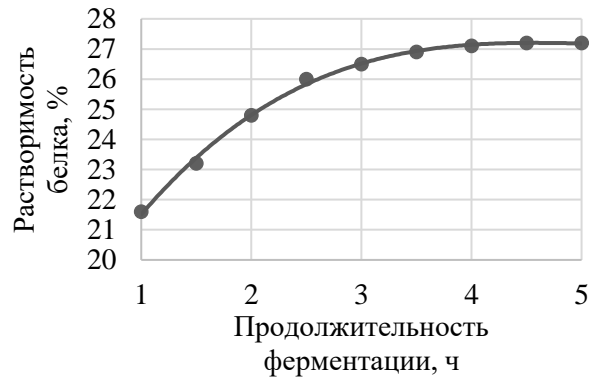


Подсолнечный шрот

б



Зерна гороха



Подсолнечный шрот

в

Рисунок 12 – Зависимость степени гидролиза белков гороха и подсолнечного шрота от концентрации «Протозима Н» (а) и параметров процесса: гидро модуля (б) и продолжительности (в)

Исходя из вышесказанного можно утверждать, что комплексное применение протеазы, амилазы (для гороха) или целлюлазы (для подсолнечного шрота) и лактата кальция обеспечивает синергетический эффект, превосходящий результаты

раздельного использования этих компонентов. Предлагаемые ферментные препараты и вспомогательные вещества относятся к категории безопасных и разрешены для применения в пищевой промышленности [91; 111], что подтверждает перспективность разрабатываемых технологических решений.

### **3.3 Разработка технологии получения гидролизата белка гороха**

Разработка параметров контролируемого ферментативного гидролиза с применением комбинации протеазы, амилазы и лактата кальция позволит получить гидролизат белка гороха с заданной степенью гидролиза и определенными ФТС, а также высокой биодоступностью.

Разработанная технология получения гидролизата белка гороха представлена на рисунке 13.

Первым этапом получения гидролизата белка гороха является промывание зерен гороха проточной водой и измельчение до частиц размером 250–300 мкм, с последующим их диспергированием в воде в соотношении 1:10 для получения основной суспензии.

После этого проводили гидролиз белка в трех параллельных вариантах:

В первом варианте (ГБГ-1) водную суспензию выдерживали в течение 2 ч при 25 °С, после чего центрифугировали при 10 000 g, 5 мин, 20 °С и фильтровали с последующей сушкой сухого остатка.

Во втором варианте водную суспензию доводили раствором 1М NaOH до рН 8,0, вносили фосфатный буфер и нагревали до температуры 50–55 °С, затем вносили 0,5 % лактата кальция от массы суспензии и 1,5 % протеазы от массы измельченных зерен гороха. Полученную суспензию выдерживали 1,5 ч при постоянной температуре и помешивании. После чего нагревали до 80 °С в течение 5 мин, центрифугировали при 10 000 g, 5 мин, 20 °С, с последующей сушкой сухого остатка.

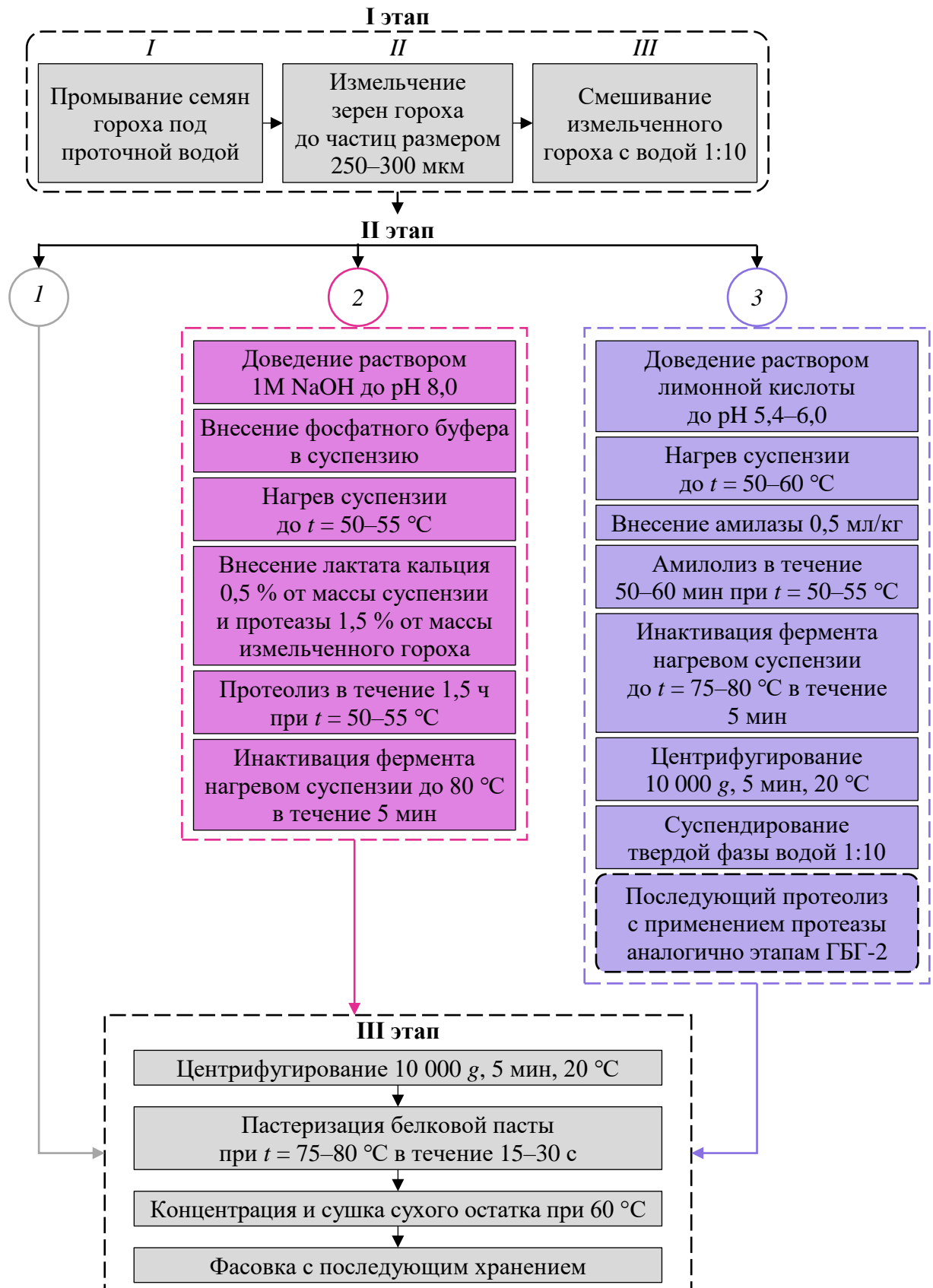


Рисунок 13 – Схема получения гидролизата белка гороха:

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

В третьем варианте (ГБГ-3) первичную суспензию доводили раствором 10 % лимонной кислоты до pH 5,4–6,0, после чего нагревали до 50–60 °С, вносили амилазу из расчета 0,3–0,6 мл/кг и выдерживали в течение 50–60 мин при постоянном помешивании. Полученную суспензию нагревали до 75–80 °С в течение 5 мин, центрифугировали, отделяли твердую фазу и повторно диспергировали водой. Вторичную водную суспензию доводили раствором 1М NaOH до pH 8,0, вносили фосфатный буфер и нагревали до температуры 50–55 °С, после чего вносили 0,5 % лактата кальция от массы суспензии и 1,5 % протеазы от массы сухого остатка первичного гидролиза. Полученную суспензию выдерживали в течение 1,5 ч при постоянной температуре и помешивании. После чего нагревали до 80 °С в течение 5 мин, центрифугировали (10 000 g, 5 мин, 20 °С) с последующей сушкой сухого остатка.

Полученные гидролизаты сушили в вакуумной сушке Stegler VAC-24. Метод вакуумной сушки основан на удалении влаги при давлении ниже атмосферного. Исследования проводили на базе Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН.

Исследование динамики удаления влаги из гидролизата при различных температурных параметрах на примере ГБГ-3 показало, что наиболее активное обезвоживание зафиксировано при нагреве материала до 60 °С. Достижение конечной влажности на уровне 4,5 % в указанном режиме требовало временных затрат, составлявших ( $190 \pm 10$ ) мин (таблица 19).

Таблица 19 – Показатели вакуумной сушки ГБГ-3 при различной температуре

Показатель	Температура в камере, °С	
	60	70
Длительность сушки, мин	$190 \pm 10$	$210 \pm 10$
Массовая доля влаги, %	$5,2 \pm 0,2$	$4,95 \pm 0,05$
Удельные затраты энергии, кВт/кг удаленной влаги	$3,54 \pm 0,10$	$3,88 \pm 0,10$

Повышение температуры до 70 °С отрицательно сказывалось на эффективности сушки. Ускоренное испарение влаги с поверхностных слоев приводило к образованию пересушенной и частично подгоревшей корки, которая выступала в роли барьера, препятствующего дальнейшей миграции жидкости из внутренних областей

материала. В результате формировался градиент влажности, при котором удаление воды из глубинных слоев существенно затруднялось, а общая продолжительность процесса возрастала. Таким образом, экспериментально установлено, что увеличение температуры выше оптимального значения 60 °С не только не ускоряет процесс обезвоживания, но и создает дополнительные технологические сложности, связанные с перегревом поверхности и формированием плотного поверхностного слоя, замедляющего процесс массопереноса.

Дифференцирование кривых изменения относительной массы по времени позволило получить зависимости скорости сушки от продолжительности процесса (рисунок 14). Максимальные значения скорости удаления влаги наблюдались в интервале от 80 до 120 мин от начала процесса и составляли от 10 % до 25 % в час в зависимости от температурного режима.

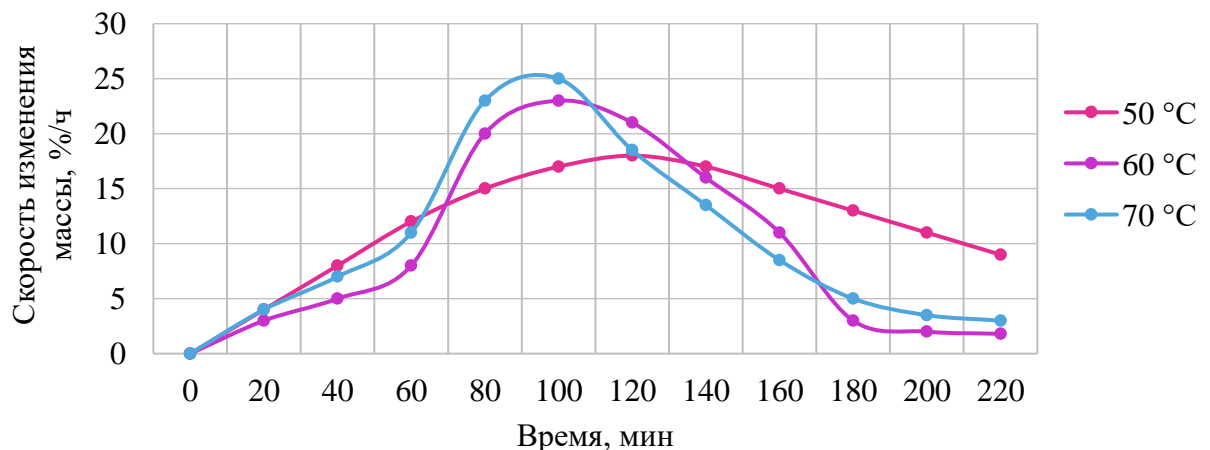


Рисунок 14 – Скорость изменения массы гидролизатов при различной температуре в сушильной камере

Далее изучены физико-химические показатели образцов гидролизатов белка гороха, полученного различными способами (таблица 20).

Анализ результатов получения гидролизатов белка гороха показал, что применение только протеазы (ГБГ-2) позволило повысить массовую долю белка с 27,5 % до 55,8 % по сравнению с контролем (ГБГ-1). При этом наибольшая эффективность достигнута при комбинированной обработке амилазой и протеазой (ГБГ-3), где содержание белка достигло 70,5 % при степени гидролиза 21,2 %.

Таблица 20 – Физико-химические показатели гидролизатов белка гороха

Показатель	ГБГ-1	ГБГ-2	ГБГ-3
Выход, г	28,5 ± 0,20	24,1 ± 0,20	16,8 ± 0,20
Массовая доля влаги, %	5,3 ± 0,20	4,9 ± 0,20	5,2 ± 0,20
Массовая доля белка, %	27,5 ± 0,15	55,8 ± 0,15	70,5 ± 0,15
Массовая доля сырого жира, %	1,45 ± 0,10	1,58 ± 0,10	1,91 ± 0,10
Массовая доля аминного азота, мг/100 г	134,62 ± 6,73	329,41 ± 16,47	698,66 ± 7,00
Степень гидролиза, %	–	9,77	13,41

Снижение выхода продукта с 28,5 до 16,8 г подтверждает эффективное удаление основных небелковых компонентов (крахмала и клетчатка) в процессе ферментативного гидролиза, что доказывает эффективность последовательной ферментативной обработки для получения высокобелкового концентрата из гороха.

Полученные образцы гидролизатов белка гороха были оценены по сенсорным профилям, определяющих их органолептические показатели. Так, в качестве основных дескрипторов, формирующих флейвор, определяли основные вкусы (кислый, сладкий, горький, соленый), привкусы (щелочной, вяжущий) и ретро-назальные ароматические тона (растительный). Длительность послевкусия в полной мере коррелировала с насыщенностью вкуса.

На рисунке 15 приведены сравнительные сенсорные профили полученных белковых гидролизатов с указанием основных дескрипторов и их интенсивности, выраженных по пятибалльной шкале.

Наиболее нейтральным по органолептическим показателям является образец ГБГ-3, характеризующийся низкой интенсивностью запаха. Основные вкусы показывают высокую насыщенность, низкую длительность послевкусия, обусловленные белковой природой продукта и его специфическим взаимодействием с рецепторами языка.

На основе анализа сенсорного профиля гидролизатов белка гороха установлено, что органолептические показатели полученных образцов изменяются в зависимости от степени гидролиза, что, в свою очередь, влияет на возможность их применения в качестве пищевых ингредиентов.

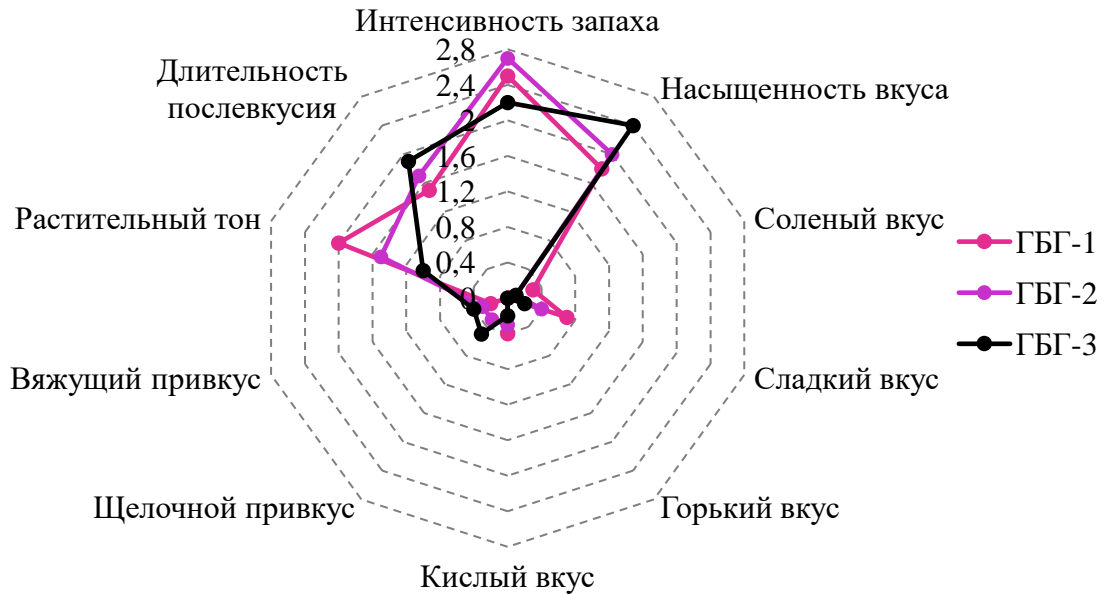


Рисунок 15 – Сенсорные профили белковых гидролизатов, полученных из семян гороха

Наиболее отличительным сдвигом в профиле является снижение оценки характерного растительного (бобового) тона с 2,0 до 1,0 балла, что обуславливается эффективной модификацией нативных ароматов сырья в процессе ферментативного гидролиза. Также наблюдается усиление насыщенности вкуса и значительное увеличение длительности послевкусия (с 1,5 до 2,2 балла), что связано с повышением содержания низкомолекулярных пептидов и свободных аминокислот. Стоит отметить, что результатом изменения технологии получения гидролизатов белка гороха является появление и усиление щелочного привкуса (с 0 до 0,5 балла) у более глубоко гидролизованных образцов, что обусловлено условиями проведения процесса (поддержание щелочного pH). Таким образом, основным направлением при использовании глубоких гидролизатов гороха (ГБГ-3) выступает коррекция щелочного оттенка, однако чистый от горечи вкусовой профиль является существенным преимуществом в создании продуктов с «чистой» этикеткой.

Отсутствие полифенолов в составе семян гороха (таких как хлорогеновая кислота), представляющих одну из причин образования горечи, позволяет получить универсальный продукт, применимый для формирования различных продуктов питания, при этом отсутствие интенсивных реакций потемнения также объяс-

няет сохранение светлых оттенков цвета во всех образцах, формируя наиболее лояльное отношение потребителей (таблица 21).

Таблица 21 – Влияние степени гидролиза на органолептические показатели гидролизатов подсолнечного белка

Показатель	Степень гидролиза, %		
	0 (ГБГ-1)	9,77 (ГБГ-2)	13,41 (ГБГ-3)
Горький вкус	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
Цвет	Светло-бежевый	Кремовый	Светло-кремовый
Растительный тон	Умеренный	Слабый	Очень слабый

Стоит отметить, что основное изменение профиля заключается в постепенном ослаблении характерного растительного тона и последовательном усилении вкуса умами по мере увеличения степени гидролиза. Усиление вкуса умами напрямую связано с повышением концентрации свободных аминокислот, в частности глутаминовой, высвобождающейся в ходе ферментативного протеолиза.

### **3.4 Разработка технологии получения гидролизата белка подсолнечного шрота**

Исследования с подсолнечным шротом проводили по схеме, аналогичной получению горохового гидролизата, однако с учетом сырья и особенностей применяемых ферментов. Схема получения гидролизата белка подсолнечного шрота представлена на рисунке 16.

Очищенный от примесей подсолнечный шрот измельчали до размера частиц не более 300 мкм, после чего диспергировали в воде в соотношении 1:10 для получения основной суспензии. Гидролиз белка проводили параллельно тремя методами с целью определения наиболее эффективного из них.



Для получения ГБП-1 водную суспензию выдерживали в течение 2 ч при 25 °С, после чего центрифугировали при 10 000 g, 5 мин, 20 °С и фильтровали с последующей сушкой сухого остатка.

Для получения ГБП-2 водную суспензию доводили раствором 1М NaOH до pH 8,0, вносили фосфатный буфер и нагревали до температуры 50–55 °С, после чего вносили 0,5 % лактата кальция от массы суспензии и 1,5 % протеазы от массы измельченного подсолнечного шрота. Полученную суспензию выдерживали в течение 1,5 ч при постоянной температуре, после чего центрифугировали (10 000 g, 5 мин при 20 °С) и фильтровали с последующей сушкой сухого остатка.

Для получения ГБП-3 водную суспензию доводили раствором 10 % лимонной кислоты до pH 4,2–5,6, после чего нагревали до 50–55 °С, вносили 1 % целлюлазы и выдерживали в течение 50–60 мин при постоянном перемешивании. Полученную суспензию центрифугировали, после чего твердую фазу отделяли с последующей сушкой и повторно диспергировали водой. Вторичную водную суспензию доводили раствором 1М NaOH до pH 8,0. Далее вносили фосфатный буфер и нагревали до температуры 50–55 °С, после чего добавляли 0,5 % лактата кальция от массы суспензии и 1,5 % протеазы от массы сухого остатка первичного гидролиза. Полученную суспензию выдерживали в течение 1,5 ч при постоянной температуре и перемешивании, после чего центрифугировали (10 000 g, 5 мин, 20 °С) и фильтровали с последующей сушкой сухого остатка.

Использование целлюлазы в третьем варианте благодаря предварительной деструкции клеточных стенок обеспечивает прямой доступ протеазы к белкам, что увеличивает скорость и степень гидролиза.

Результаты физико-химических показателей образцов гидролизатов белка подсолнечного шрота (ГБП-1, ГБП-2, ГБП-3), полученных при различных режимах ферментативного гидролиза, представлены в таблице 22.

Установлено, что с увеличением степени гидролиза от 7,53 % (ГБП-2) до 12 % (ГБП-3) отмечается снижение общего выхода полученного гидролизата с 28,4 до 22,3 г и повышение массовой доли белка до 68,9 %.

Таблица 22 – Физико-химические показатели гидролизатов белка подсолнечного шрота

Показатель	ГБП-1	ГБП-2	ГБП-3
Выход, г	32,1 ± 0,2	28,4 ± 0,2	22,3 ± 0,2
Массовая доля влаги, %	5,1 ± 0,2	4,8 ± 0,3	4,9 ± 0,1
Массовая доля белка, %	41,15 ± 0,15	50,85 ± 0,15	68,90 ± 0,15
Массовая доля сырого жира, %	7,75 ± 0,11	6,63 ± 0,12	6,66 ± 0,15
Массовая доля аминного азота, мг/100 г	447,11 ± 22,36	466,67 ± 23,33	586,83 ± 29,34
Степень гидролиза, %	0,52	7,53	12,00
Содержание хлорогеновой кислоты, %	1,381	1,723	2,850

Таким образом, использование целлюлазы в общем процессе гидролиза позволяет повысить общую эффективность ферментативной обработки, позволяя расщепить и удалить небелковые компоненты, снижающие общую пищевую и биологическую ценность гидролизата.

Далее изучены органолептические показатели растительных белков, полученных при различных режимах ферментативного гидролиза.

Согласно исследованиям С. Chatterjee и др., гидролиз эффективно решает ключевую проблему растительных белков – наличие специфических растительных, травянистых тонов и горького привкуса [90]. В качестве основных дескрипторов, формирующих флейвор, определяли основные вкусы (кислый, сладкий, горький, соленый), привкусы (щелочной, вяжущий), и ретроназальные ароматические тона (растительный). Длительность послевкусия в полной мере коррелировала с насыщенностью вкуса. На рисунке 17 приведены сравнительные сенсорные профили полученных белковых гидролизатов с указанием основных дескрипторов и их интенсивности, выраженных по пятибалльной шкале.

Наиболее нейтральным по органолептическим показателям является образец ГПБ-2, характеризующийся интенсивностью запаха ниже среднего и обволакивающим вкусом с легкой горчинкой. Хотя основные вкусы показывают низкую интенсивность, высокая насыщенность вкуса и длительное послевкусие обусловлены белковой природой продукта и его специфическим взаимодействием с рецепторами языка, создающими объемный вкус.

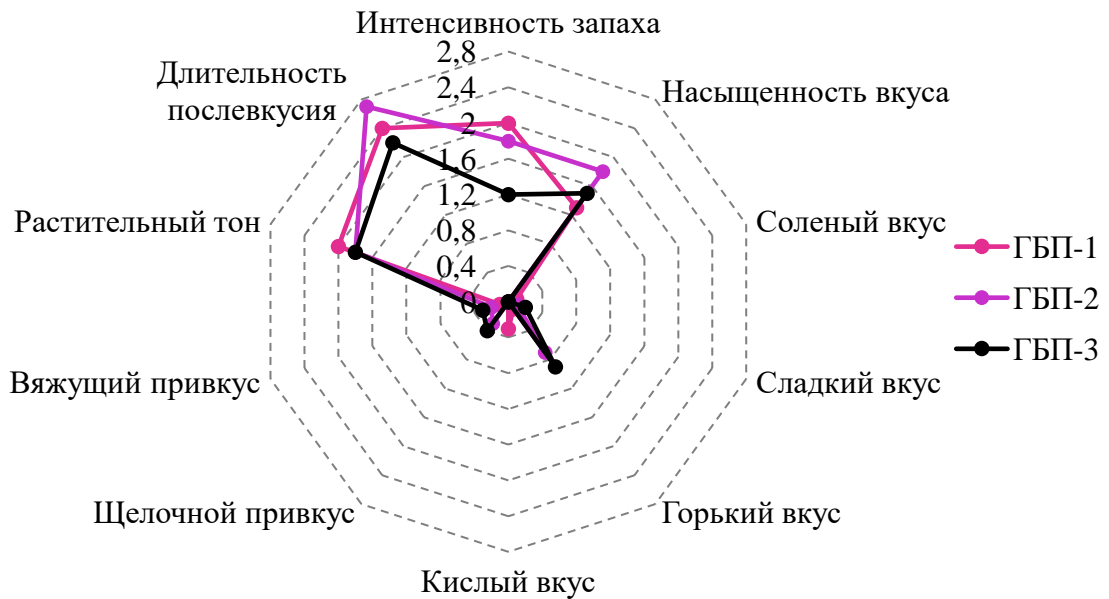


Рисунок 17 – Сенсорные профили белковых гидролизатов, полученных из подсолнечного шрота

Органолептические характеристики гидролизатов подсолнечного белка существенно зависят от степени гидролиза, определяя их применимость в пищевых продуктах (таблица 23).

Таблица 23 – Влияние степени гидролиза на органолептические показатели гидролизатов подсолнечного белка

Показатель	Степень гидролиза, %		
	0,52 (ГБП-1)	7,53 (ГБП-2)	12,00 (ГБП-3)
Горький вкус	Слабый	Слабый	Слабый
Цвет	Светло-коричневый	Светло-коричневый	Светло-коричневый
Растительный тон	Умеренный	Умеренный	Умеренный

Наиболее значимый негативный фактор при гидролизе растительных белков – горький вкус. Он связан с наличием в структуре пептидов аминокислот L-триптофана, L-валина, L-лейцина, L-метионина, L-аргинина, которые оказывают влияние на рецепторы горького вкуса на языке [11; 12]. Интенсивность горького вкуса зависит от типа используемых для гидролиза протеаз и степени гидролиза [22; 24].

С повышением степени гидролиза концентрация свободных аминокислот растет, усиливая вкус умами, сформированный за счет глутаминовой аминокис-

лоты, использование которой в синергизме к инозинатом и гуанилатом дает объемный и солоноватый вкус. Это может быть позитивным фактором за счет маскировки горького вкуса и возможного снижения количества хлорида натрия в рецептуре пищевого продукта.

Подсолнечный шрот содержит значительное количество полифенолов, в основном хлорогеновой кислоты. В зависимости от степени гидролиза содержание хлорогеновой кислоты увеличивается с 1,381 % до 2,850 % (см. таблицу 22), что связано с ее переходом в раствор вместе с белком и влияет на усиление выраженного горького вкуса в ГБП-3 (см. рисунок 17). При гидролизе в водной среде хлорогеновая кислота, будучи полярным соединением, эффективно экстрагируется из матрицы шрота в жидкую фазу (гидролизат).

При контакте с кислородом воздуха и под действием фермента полифенолоксидазы полифенолы окисляются до хинонов, которые затем полимеризуются, образуя темноокрашенные пигменты [24]. Показано, что с увеличением степени гидролиза цвет белкового гидролизата становится интенсивно коричневым, темным из-за усиления контакта полифенолов с кислородом и взаимодействия продуктов реакции Майяра (между аминокетонами пептидов и восстановленными сахарами) с полифенолами.

### **3.5 Изучение функционально-технологических свойств гидролизата белка гороха и подсолнечного шрота**

Функционально-технологические свойства белков, такие как растворимость, эмульгирующая и пенообразующая способность, водопоглощение и гелеобразующая способность, играют главную роль в проектировании и разработке продуктов питания. В частности, эти свойства зависят от химического состояния белка и могут значительно различаться в зависимости от используемых методов экстракции и вида сырья.

На основе изучения ФТС белков, обусловленных их амфифильной природой и структурными особенностями, исследование ВСС, ВУС, ЖУС и гелеобразующей способности гидролизатов белка гороха и подсолнечного шрота определяет дальнейшую возможность их применения в технологии различных продуктов питания. Данные свойства напрямую зависят от взаимодействия гидрофобных и гидрофильных участков белковых молекул, а также от их вторичной и третичной структуры [89]. Полученные данные помогут оценить потенциал использования белков гороха и подсолнечника в качестве функциональных ингредиентов для создания продуктов с улучшенными технологическими и потребительскими свойствами.

Массовая доля влаги является важным и определяющим показателем для расчетов пищевой и энергетической ценности и определения технологических свойств (рассыпчатость, срок годности).

Результаты определения ФТС образцов гидролизата белка гороха представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Функционально-технологические свойства гидролизата белка гороха

Показатель	Значение, %		
	ГБГ-1	ГБГ-2	ГБГ-3
Массовая доля влаги	5,3 ± 0,2	4,9 ± 0,2	5,2 ± 0,2
Влагосвязывающая способность	2,8	3,5	4,2
Влагоудерживающая способность	68,5	75,2	81,7
Жиросвязывающая способность	1,9	2,3	2,8
Эмульгирующая способность	45,1	52,8	60,5
Гелеобразующая способность	115,5	135,2	158,7

Проведенный анализ ФТС гидролизатов белка гороха показал связь между степенью ферментативной обработки и качеством конечного продукта. Наибольший выход и наилучшие значения ФТС отмечаются у образца ГБГ-3, полученного методом двойного ферментативного гидролиза с использованием амилазы и протеазы с лактатом кальция.

Образец ГБГ-3 обладает максимальной ВУС – 81,7 %, что на 13,2 % выше, чем у образца ГБГ-1 (68,5 %). При этом отмечается рост эмульгирующей (60,5 %) и гелеобразующей способности (158,7 %), превышающий значения ГБГ-1 более чем на 15 % и 43,2 % соответственно. Кроме того, образец ГБГ-2 показывает более низкие результаты по ВУС (75,2 %), чем ГБГ-3, что обусловливается содержанием нерасщепленного крахмала. Таким образом, комбинированный ферментативный гидролиз оказывает существенное влияние на получение из гороха высококачественного белкового гидролизата с высокими ФТС.

Результаты определения ФТС образцов гидролизата подсолнечного шрота представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Функционально-технологические свойства гидролизата белка подсолнечного шрота

Показатель	Значение, %		
	ГБП-1	ГБП-2	ГБП-3
Массовая доля влаги	5,1 ± 0,2	4,8 ± 0,3	4,9 ± 0,1
Влагосвязывающая способность	1,9	2,4	3,1
Влагоудерживающая способность	62,1	68,5	74,3
Жирсвязывающая способность	2,5	2,9	3,4
Эмульгирующая способность	38,7	45,2	52,8
Гелеобразующая способность	85,2	98,7	115,5

Анализ результатов определения ФТС гидролизатов подсолнечного шрота показал эффективность применения целлюлазы как дополнительного этапа гидролиза. Наиболее высокие результаты отмечаются у образца ГПП-3, полученного методом двойного ферментативного гидролиза целлюлазой и протеазой с лактатом кальция. Так, одним из наиболее значительных преимуществ этого образца является высокая жирсвязывающая способность, которая составила 3,4 %, что значительно выше значений ГПП-1 (2,5 %) и ГПП-2 (2,9 %). При этом отмечается значительный рост влагоудерживающей и эмульгирующей способности – на 12,2 % и 14,1 % соответственно. Полученные результаты позволяют утверждать, что гидролиз клетчатки в подсолнечном шроте с применением целлюлазы является крити-

чески важной стадией, позволяющей увеличить не только общую концентрацию белка в конечном продукте, но и раскрывающей его функциональный потенциал.

Полученные данные указывают на высокую перспективу использования гидролизата подсолнечного шрота ГПГ-3 в качестве специализированного ингредиента в жиросодержащих пищевых продуктах для стабилизации их структуры и текстуры.

### **3.6 Изучение аминокислотного состава гидролизатов белка гороха и подсолнечного шрота**

Аминокислотный состав белков является важной характеристикой, определяющей их пищевую и функциональную ценность. Наличие и соотношение незаменимых аминокислот, которые не синтезируются в организме человека, напрямую влияет на способность белка поддерживать рост, восстановление организма и общее состояние здоровья. Белки с полноценным аминокислотным профилем, сбалансированным по таким лимитирующим аминокислотам, как лизин, метионин и триптофан, наиболее ценны для обогащения пищевых продуктов и кормов. Этот состав не только предопределяет биологическую эффективность белка, но и может влиять на его технологические свойства, такие как растворимость, вкус и стабильность при обработке. Таким образом, оценка аминокислотного состава служит ключевым этапом в разработке функциональных пищевых продуктов.

Анализ данных, приведенных в таблице 26, показывает четкую зависимость аминокислотного состава от степени гидролиза внутри каждой группы. В линейке гидролизатов горохового белка образец ГБГ-3 характеризуется максимальным значением по сумме аминокислот (70 560 мг), превосходя ГБГ-1 и ГБГ-2 по абсолютному содержанию всех незаменимых аминокислот: лизина на 112 %, лейцина на 123 % и 1 %, валина на 138 % и 26 % соответственно, а также имеет значительно более высокое содержание метионина.

Таблица 26 – Аминокислотный состав образцов гидролизатов, мг/100 г

Показатель	Гидролизат белка гороха			Гидролизат белка подсолнечного шрота		
	ГБГ-1	ГБГ-2	ГБГ-3	ГБП-1	ГБП-2	ГБП-3
Аспарагиновая	4090 ± 205	7373 ± 369	9581 ± 479	4571 ± 479	5032 ± 252	8346 ± 417
Глутаминовая	4965 ± 248	11275 ± 564	12643 ± 632	10082 ± 632	13476 ± 674	16255 ± 813
Серин	1499 ± 75	3254 ± 163	5597 ± 280	2079 ± 280	2532 ± 127	3414 ± 171
Гистидин	625 ± 31	798 ± 40	1776 ± 89	1271 ± 89	1060 ± 53	1422 ± 71
Глицин	1066 ± 53	1839 ± 92	5107 ± 255	1943 ± 255	3321 ± 166	3047 ± 152
Треонин	1220 ± 61	2261 ± 113	3648 ± 182	1800 ± 182	2112 ± 106	2829 ± 141
Аланин	1448 ± 72	2680 ± 134	3082 ± 154	1888 ± 154	2208 ± 110	3578 ± 179
Аргинин	1695 ± 85	3316 ± 166	4070 ± 204	2513 ± 204	3313 ± 166	4285 ± 214
Тирозин	844 ± 42	1895 ± 95	2429 ± 121	1262 ± 121	1022 ± 51	1682 ± 84
Цистин	164 ± 8	138 ± 7	221 ± 11	139 ± 11	445 ± 22	403 ± 20
Валин	1539 ± 77	2913 ± 146	3667 ± 183	2553 ± 183	2958 ± 148	4124 ± 206
Метионин	210 ± 11	402 ± 20	1517 ± 76	1051 ± 76	1180 ± 59	1373 ± 69
Фенилаланин	1459 ± 73	3050 ± 153	3120 ± 156	1860 ± 156	2189 ± 109	3273 ± 164
Изолейцин	1524 ± 76	3066 ± 153	3235 ± 162	1997 ± 162	2400 ± 120	3385 ± 169
Лейцин	2051 ± 103	4618 ± 231	4570 ± 229	2615 ± 229	3246 ± 162	4581 ± 229
Лизин	2220 ± 111	5435 ± 272	4704 ± 235	2206 ± 235	2425 ± 121	4287 ± 214
Пролин	882 ± 44	1489 ± 74	1594 ± 80	1272 ± 64	2158 ± 108	2769 ± 138
С у м м а	27500 ± 1375	55803 ± 2790	70560 ± 3528	41102 ± 2055	51076 ± 2554	69053 ± 3453

Аналогичная тенденция наблюдается для гидролизатов подсолнечного шрота, причем ГБП-3 является наиболее полноценным, превосходя ГБП-1 и ГБП-2 по сумме аминокислот на 68 % и 35 % соответственно и показывая наибольшее содержание лизина и метионина. Таким образом, для обеих групп белков образцами с наивысшей степенью гидролиза являются ГБГ-3 и ГБП-3, обладающие наилучшим и наиболее сбалансированным аминокислотным профилем.

Далее с применением методов биоинформатического анализа и инструментария программы BIOPEP-UWM проведено исследование механизма протеолитического действия ферментного препарата «Протозим Н» на белковую структуру подсолнечного шрота. В результате предиктивного моделирования установлены места специфического расщепления пептидных связей и идентифицированы фрагменты, обладающие потенциальной биологической активностью. Последовательность распознавания субстрата активным центром протеиназы P1, визуализированная в программе, представлена на рисунке 18. Идентификация аминокислотных остатков осуществлялась с использованием однобуквенных обозначений (Q – глутамин, V – валин, P – пролин, S – серин, L – лейцин).

Cutting sequence	C-terminus	N-terminus
Q	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
V	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
P	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Q	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
P	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
L	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 18 – Последовательность распознавания потенциальной биологической активности пептидов для активной протеиназы P1

Микробные протеиназы наряду с протеазами животного происхождения используются для гидролиза пептидных связей при определении аминокислотной последовательности белков и полипептидных фрагментов [16].

Фермент воздействует на карбоксильную группу (С-конец) и аминогруппу (N-конец) аминокислот белка. На рисунке 19 представлен профиль потенциальной биологической активности в гидролизате белка подсолнечного шрота, знаком «←» обозначены места разрыва пептидной связи.

**Results of enzyme action**  
 MA - SKAT - L - L - L - AFT - L - L - FATCIARH - Q - Q - R - Q - Q - Q - Q - N - Q - C - Q - L - Q - NIEA - L - E - P - IEV - I - Q - AEAGV - TEIWDAYD - Q - Q - F - Q - CAW - SI - L - FDTGFN - L - V - AF - SC - L - P - T - ST - P - L - FW - P - S - SREGV - I - L - P - GCRRTYEY - S - Q - E - Q - Q - F - SGEGRGGGGEGTFRTV - IRK - L - EN - L - KEGDV - V - AI - P - TGTAHW - L - HNDGNTE - L - V - V - V - F - L - DT - Q - NHEN - Q - L - DEN - Q - RRFF - L - AGN - P - Q - A - Q - A - Q - S - Q - Q - Q - Q - Q - R - Q - P - R - Q - Q - S - P - Q - R - Q - R - Q - R - Q - R - Q - G - Q - G - Q - NAGNIFNGFT - P - E - L - IA - Q - SFNV - D - Q - ETA - Q - K - L - Q - G - Q - ND - Q - RGHIV - NV - G - Q - D - L - Q - IV - R - P - P - Q - DRR - S - P - R - Q - Q - Q - E - Q - AT - S - P - R - Q - Q - Q - E - Q - Q - GRRGGW - SNGV - EETIC - SMKFKV - NIDN - P - S - Q - ADFV - N - P - Q - AG - SIAN - L - N - SFKF - P - I - L - EH - L - R - L - SV - ERGE - L - R - P - NAI - Q - S - P - HWTINAHN - L - L - YV - TEGA - L - RV - Q - IV - DN - Q - GN - SV - FDNE - L - REG - Q - V - V - V - I - P - Q - NFAV - IKRANE - Q - G - SRWV - SFKTDNAMIAN - L - AGRV - SA - SAA - S - P - L - T - L - WANRY - Q - L - SREEA - Q - Q - L - KF - S - Q - RETV - L - FA - P - SF - SRG - Q - GIRA - SR

Рисунок 19 – Профиль потенциальной биологической активности пептидов в гидролизатах белка подсолнечного шрота

Аминокислотные паттерны образовавшихся пептидов определяют их свойства. В таблице 27 представлена краткая характеристика биоактивных пептидов гидролизата белка (АПФ – ангиотензинпревращающий фермент, ДПП-3 и ДПП-4 – дипептидилпептидаза-3 и дипептидилпептидаза-4 соответственно).

Таблица 27 – 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 глюкогона

## Продолжение таблицы 27

Биологическая активность	Аминокислотные последовательности	Физиологическая роль
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	FW (фенилаланин, триптофан)	Подавление активности неприлизина, расщепляющего сигнальные пептиды, участвующие в транспорте белков
Регуляторная активность	FW (фенилаланин, триптофан)	Участие в регуляции и реализации разнообразных физиологических функций организма

Анализ потенциальной аминокислотной последовательности методом *in silico* с использованием инструментов программы BIOPEP-UWM, а также оценка биоактивных свойств полученных гидролизатов показали образование гетерогенной смеси пептидов, различающихся по длине и аминокислотному составу.

Согласно полученным результатам, исследуемый ферментный препарат катализирует гидролиз высокомолекулярных белков с образованием низкомолекулярных пептидов. Потенциальные биоактивные пептиды, идентифицированные с помощью программы BIOPEP-UWM, проявляют следующие свойства: ингибирование АПФ, ренина, ДПП-3, ДПП-4 и неприлизина; стимуляция усвоения глюкозы; гипоурикемический и регуляторный эффекты. Данные свойства обуславливают их ценность в качестве компонентов для обогащения продуктов спортивного и здорового питания, где они способствуют не только легкому усвоению, но и выполнению регуляторных функций, поддерживающих метаболические процессы.

### 3.7 Оценка качества, определение условий и сроков хранения гидролизатов белка

Проведенные исследования по получению гидролизатов белка гороха и подсолнечного шрота и определению их ФТС на основе сравнительного анализа позволяют выделить наиболее успешные из них, представляющие наибольший интерес для дальнейших исследований и разработки продуктов на их основе (таблица 28).

Таблица 28 – Показатели качества гидролизатов белка гороха и белка подсолнечника

Наименование показателя	Гидролизат горохового белка (ГБГ-3)	Гидролизат белка подсолнечного шрота (ГБП-3)
<b>Физико-химические показатели</b>		
Массовая доля влаги, %	5,2 ± 0,2	4,9 ± 0,1
Массовая доля белка, %	70,5 ± 0,2	68,9 ± 0,2
Массовая доля сырого жира, %	0,96 ± 0,05	25,52 ± 1,00
Массовая доля аминного азота, мг/100 г	698,66 ± 34,93	466,67 ± 23,33
Массовая доля золы, %	1,64 ± 0,03	2,84 ± 0,07
<b>Органолептические показатели</b>		
Цвет	Светло-кремовый	Темно-бежевый
Вкус и запах	Вкус чистый, с легкой сладостью на послевкусии; запах нейтральный	Вкус обволакивающий, с легкой горчинкой; запах ореховый
Внешний вид и консистенция	Мелкодисперсный сыпучий порошок	

Стоит отметить, что ферментативный гидролиз повышает усвояемость полученных белков до 96–98 %, позволяет удалить ряд антипитательных веществ, таких как фитаты из горохового белка и хлорогеновая кислота из подсолнечного белка [95; 111; 127]. Таким образом, влияние степени гидролиза на органолептические показатели является одним из ключевых факторов, определяющих использование гидролизата белка гороха и белка подсолнечного шрота в пищевой промышленности.

Для установления срока хранения разработанных белковых гидролизатов исследовали органолептические, физико-химические и микробиологические показатели качества в динамике. Предполагаемый срок годности гидролизатов при хранении составляет 12 мес. с даты изготовления, в связи с этим исследования проводили с периодичностью отобранных образцов 4 раза (после производства, через 3; 9; 12 и 14 мес. хранения с учетом коэффициента резерва 1,15, или 15 %, в соответствии с МУК 4.2.1847-04 [68]). Изменение физико-химических и органолептических показателей порошка за 14 мес. хранения представлено в таблице 29.

Таблица 29 – Органолептические свойства и динамика физико-химических показателей белковых гидролизатов в процессе хранения

Показатель	Продолжительность хранения, мес.					
	0	3	6	9	12	14
<b>Гидролизат белка гороха</b>						
Внешний вид и консистенция	Однородная тонкоизмельченная масса без посторонних включений, с наличием отдельных легко рассыпающихся комочков			Однородная тонкоизмельченная масса без посторонних включений, с большим количеством трудно рассыпающихся комочков		
Цвет	Однородный, светло-кремовый					
Вкус и запах	Вкус чистый, сладковатый, запах нейтральный, слабый бобовый			Ощущается прогорклый запах и горьковатый привкус		
Массовая доля влаги, %	5,20 ± 0,20	5,20 ± 0,10	5,20 ± 0,10	5,30 ± 0,05	5,35 ± 0,05	5,38 ± 0,05
<b>Гидролизат белка подсолнечного шрота</b>						
Внешний вид и консистенция	Порошкообразная однородная масса с наличием отдельных легко рассыпающихся комочков, без посторонних включений			Наличие трудно рассыпающихся комочков, без посторонних включений		
Цвет	Однородный, темно-бежевый					
Вкус и запах	Вкус, обволакивающий с легкой горчинкой, запах ореховый, возможна горечь			Легкий прогорклый запах		
Массовая доля влаги, %	4,90 ± 0,10	4,90 ± 0,05	4,95 ± 0,05	4,95 ± 0,05	5,05 ± 0,10	5,10 ± 0,10

Установлено, что органолептические показатели (см. таблицу 29) разработанных белковых гидролизатов при хранении в течение 9 мес. при температуре  $(18 \pm 3)^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха не более 75 % и в защищенном от света месте оставались на высоком уровне, существенно не изменяясь. Упаковка осуществлялась в герметичную влагонепроницаемую тару – пакеты из многослойных металлизированных материалов на основе полиэтилентерефталата (лавсана) с термосвариваемым слоем либо крафт-мешки с внутренним полиэтиленовым вкладышем, что соответствует требованиям технического регламента Таможенного союза ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки». Более продолжительное хранение приводило к изменению внешнего вида (увеличение комкования) и ухудшению органолептических показателей (появление прогорклого вкуса и запаха).

Результаты проведенного анализа изменения физико-химических показателей гидролизатов белка гороха и подсолнечного шрота в течение 14 мес. показали, что оба продукта сохраняют стабильность в течение 9 мес. Так, на 12–14-й месяц изменение влажность находится на уровне ошибки опыта.

В таблице 30 представлена динамика микробиологических показателей гидролизатов в хранении (нормативные значения показателей взяты по приложению 2, п. 1.8 ТР ТС 021/2011 для изолятов, концентратов растительных белков).

Таблица 30 – Микробиологические показатели белковых гидролизатов в процессе хранения

Показатель	Нормативное значение	Время хранения, мес.				
		0	3	9	12	14
<b>Гидролизат белка гороха</b>						
КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более $5 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^2$	$6,8 \cdot 10^2$	$8,8 \cdot 10^2$	$9,2 \cdot 10^2$
БГКП (колиформы)	Не допускаются в 0,1 г	Не обнаружены				
Патогенные, в том числе сальмонеллы	Не допускаются в 1 г	Не обнаружены				
Сульфитредуцирующие клостридии	Не допускаются в 0,1 г	Не обнаружены				
Плесени, КОЕ/г	Не более 100	Не обнаружены				

Продолжение таблицы 30

Показатель	Нормативное значение	Время хранения, мес.				
		0	3	9	12	14
<b>Гидролизат белка подсолнечного шрота</b>						
КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более $5 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^2$	$4,3 \cdot 10^2$	$6,8 \cdot 10^2$	$8,8 \cdot 10^2$	$9,2 \cdot 10^2$
БГКП (колиформы)	Не допускаются 0,1	Не обнаружены				
Патогенные, в том числе сальмонеллы	Не допускаются в 1 г	Не обнаружены				
Сульфитредуцирующие клостридии	Не допускаются в 0,1 г	Не обнаружены				
Плесени, КОЕ/г	Не более 10	Не обнаружены				

Анализ образцов в течение всего периода хранения показал незначительный рост КМАФАнМ, что не превышает допустимых значений; содержание патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, а также плесени не обнаружено.

Таким образом, на основе проведенных исследований установлен гарантированный срок хранения разработанных белковых гидролизатов – 9 мес. при температуре  $(18 \pm 2) ^\circ\text{C}$  и относительной влажности не выше 75 %. На предложенные белковые гидролизаты разработаны ТУ и ТИ 10.89.19-003-40586197-2025.

### Выводы по главе 3

В результате проведенных исследований разработаны технологии получения гидролизатов белка гороха и белка подсолнечного шрота с применением ферментативных методов обработки.

Установлено, что горох сорта «Самариус» характеризуется наиболее высоким содержанием белка (26–28 %) и оптимальным аминокислотным скором по лимитирующим серосодержащим аминокислотам (84,4 %), что делает его предпочтительным для получения белковых гидролизатов. Подсолнечный шрот, являясь вторич-

ным сырьевым ресурсом маслоперерабатывающей промышленности, содержит 40–45 % белка, однако лимитирован по лизину (скор 49,1 %), что требует его комбинирования с другими источниками белка при создании сбалансированных продуктов.

Доказана эффективность использования комбинированных ферментных систем:

– для гороха: совместное применение протеазы «Протозим Н», амилазы и лактата кальция обеспечивает синергетический эффект, позволяя расщепить крахмал, разрушить белковую матрицу и повысить выход целевого продукта;

– для подсолнечного шрота: комбинация целлюлазы, протеазы «Протозим Н» и лактата кальция способствует разрушению клеточных стенок, высвобождению внутриклеточного белка и связыванию хлорогеновой кислоты, снижающей органолептические показатели.

Разработаны параметры ферментативного гидролиза: для гороха – двухстадийная обработка амилазой (рН 5,4–6,0; 50–60 °С; 50–60 мин) с последующим гидролизом протеазой в присутствии лактата кальция (рН 8,0; 50–55 °С; 1,5 ч) позволяет получить гидролизат с содержанием белка 70,5 % и степенью гидролиза 13,41 %; для подсолнечного шрота – предварительная обработка целлюлазой (рН 4,2–5,6; 50–55 °С; 50–60 мин) с последующим протеолизом в присутствии лактата кальция обеспечивает получение продукта с содержанием белка 68,9 %, степенью гидролиза 12,0 % и снижением содержания хлорогеновой кислоты до 2,85 %.

Установлено, что ферментативный гидролиз существенно улучшает функциональные свойства полученных белковых концентратов. Гидролизат горохового белка (ГБГ-3) характеризуется высокой влагоудерживающей (81,7 %), эмульгирующей (60,5 %) и гелеобразующей (158,7 %) способностью. Гидролизат белка подсолнечного шрота (ГБП-3) обладает повышенной жиросвязывающей способностью (3,4 %) и улучшенными эмульгирующими свойствами (52,8 %).

Методом *in silico* с использованием программы BIOPEP-UWM идентифицированы пептиды, обладающие множественной биологической активностью: ингибированием АПФ, ренина, ДПП-3, ДПП-4, неприлизина; стимуляцией усвоения глюкозы; гипоурикемическим и регуляторным эффектами. Установлено, что наибо-

лее глубокий гидролиз (ГБГ-3 и ГБП-3) обеспечивает максимальное накопление незаменимых аминокислот и образование гетерогенной смеси биоактивных пептидов.

Определены оптимальные условия хранения разработанных гидролизатов: температура  $(18 \pm 3)$  °С, относительная влажность воздуха не более 75 %, в защищенном от света месте, в герметичной влагонепроницаемой упаковке. Гарантированный срок хранения составляет 9 мес., в течение которого сохраняются стабильные органолептические, физико-химические и микробиологические показатели, соответствующие требованиям ТР ТС 021/2011.

На разработанные гидролизаты белка гороха и белка подсолнечного шрота подготовлены и утверждены технические условия и технологическая инструкция ТУ 10.89.19-003-40586197-2025. Полученные продукты могут быть рекомендованы в качестве функциональных ингредиентов для производства продуктов функционального и специализированного питания.

## **4 Разработка рецептуры и технологии аналогов мясных полуфабрикатов на основе растительного белка**

### **4.1 Обоснование целесообразности разработки мясных аналогов**

Современный рынок пищевой промышленности переживает существенные изменения, когда потребители все чаще ищут продукты, сочетающие традиционный вкус и инновационную пользу. Одним из таких трендов стала разработка продукции, основанной на использовании белков только растительного происхождения – белка гороха, подсолнечника и других культур [32]. Данная тенденция обусловлена не только изменением пищевых привычек, но и экономическими, технологическими и экологическими факторами.

Усиление интереса к альтернативным источникам белка, основанное на высоком содержании белка в бобовых и зерновых культурах и их позиционировании как жизнеспособных источников высококачественного белка с возможностью включения в новые потребительские продукты, дает перспективу развития данного рынка.

Современные потребители демонстрируют растущий интерес к гибким моделям питания. Флекситариянство – сознательное сокращение потребления мяса без полного отказа от него – охватывает уже 30–40 % городского населения в развитых странах [120].

Еще одна категория потенциальных потребителей – это спортсмены и люди, ведущие активный и спортивный образ жизни, адепты ЗОЖ и фитнеса. Спортсмены-веганы/вегетарианцы составляют 10–15 % от всех тренирующихся [121]. Разработка аналогов мясных полуфабрикатов для спортсменов и активно тренирующихся необходима, так как существующие мясные продукты часто не содержат достаточного количества питательных веществ, необходимых для эффективного вос-

становления после интенсивных тренировок. Недостаток специализированных продуктов, разработанных с учетом потребностей спортсменов, приводит к необходимости использования пищевых добавок и затрудняет оптимальное питание.

Эти категории потребителей формируют устойчивый спрос на качественные растительные аналоги, которые должны соответствовать мясным продуктам по вкусу, текстуре и пищевой ценности.

С целью анализа потребительских предпочтений в отношении растительных белков, выявления ключевых причин их выбора и оценки опыта их использования был проведен опрос среди 500 респондентов – адептов ЗОЖ и фитнеса, представляющих различные возрастные группы (от 18 до 45 лет и старше) и типы питания – вегетарианцы, веганы, флекситарианцы и традиционалисты. Изучение данных аспектов позволяет определить перспективы развития рынка растительных аналогов на территории г. Екатеринбурга и выявить факторы, снижающие интерес потребителей к их внедрению в повседневный рацион.

Опрос проводили в феврале 2025 г. через Google Forms и социальные сети. Количественные данные анализировали с помощью подсчета процентов и средних значений, качественные – методом контент-анализа. В качестве основного инструмента для обработки и визуализации использовали Microsoft Excel.

С целью определения перспектив разработки аналогов мясных полуфабрикатов с использованием полученных белковых гидролизатов определили частоту потребления растительных аналогов. Результаты представлены на рисунке 20.

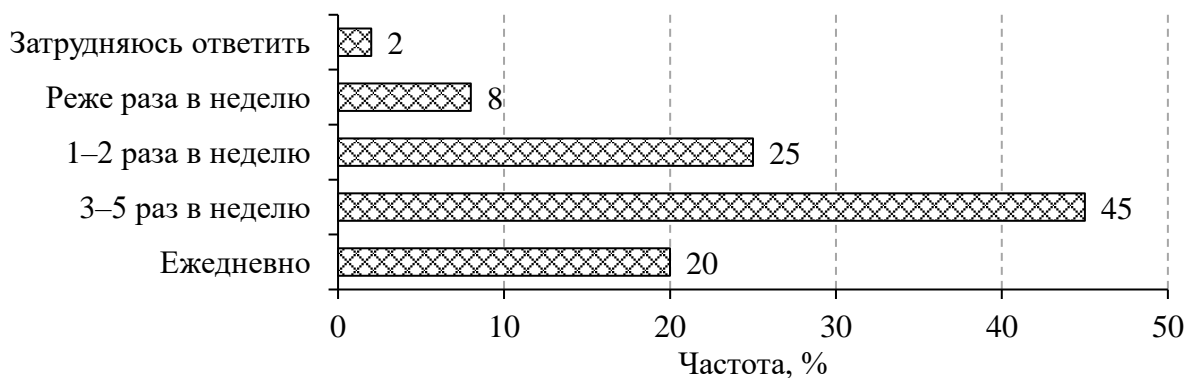


Рисунок 20 – Частота потребления растительных аналогов

Согласно полученным результатам, большинство опрошенных (65 %) потребляют продукты с растительными аналогами не реже трех раз в неделю, что говорит о высокой осведомленности и активном внедрении растительных белков в собственный рацион.

Одним из основных критериев формирования понимания возможностей развития данного направления является тип питания людей. Результаты определения типов питания представлены на рисунке 21.

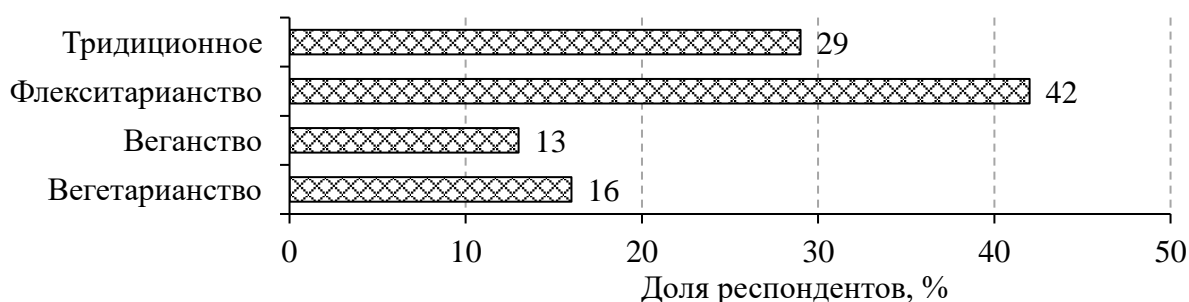


Рисунок 21 – Определение основных типов питания респондентов

Флекситарианство представляет наибольший интерес среди опрошенных – 42 %, поскольку данный тип питания основан на сохранении мясных и рыбных продуктов в рационе. При этом все большее количество людей рассматривают изменение собственного рациона в направлении веганства и вегетарианства – 13 % и 16 % соответственно. Данные тенденции можно обосновать повышением осознанности в количестве потребления мясных продуктов.

С целью формирования потребительских предпочтений и определения наиболее частых в потреблении растительных продуктов был задан вопрос, предполагающий выбор одного из вариантов растительного белка: соя, горох, чечевица, орехи/семена, злаки (рисунок 22).

Согласно полученным данным по определению потребительского отношения к растительным белкам, наиболее часто респонденты предпочитают сою, бобовые и орехи/семена – 42 % и 40 % соответственно, а также злаки – 34,8 %.

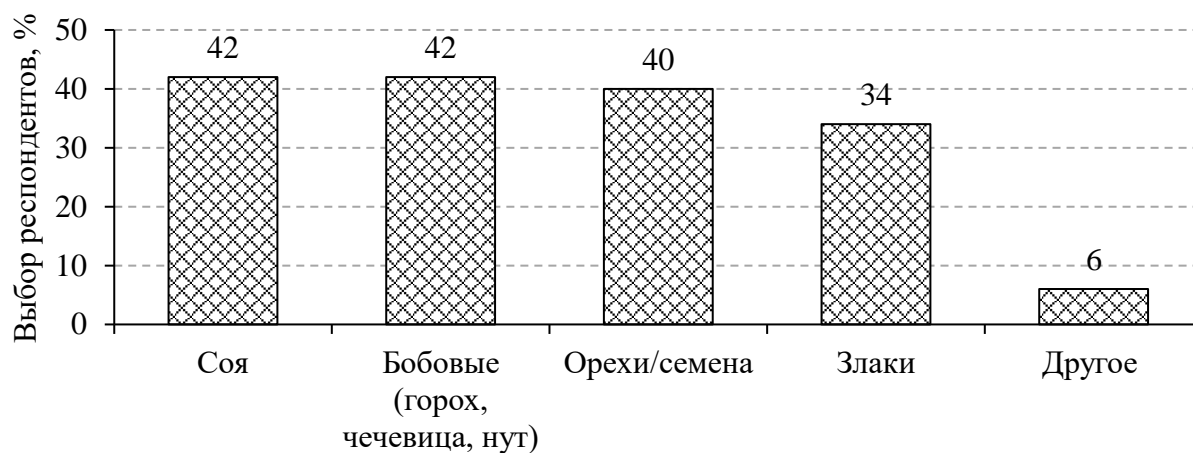


Рисунок 22 – Анализ потребительского отношения к различным растительным белкам (допускалось несколько вариантов ответов)

Несмотря на позитивное отношение потребителей к белкам растительного происхождения, существуют различные ограничивающие факторы, снижающие их широкое распространение (рисунок 23).

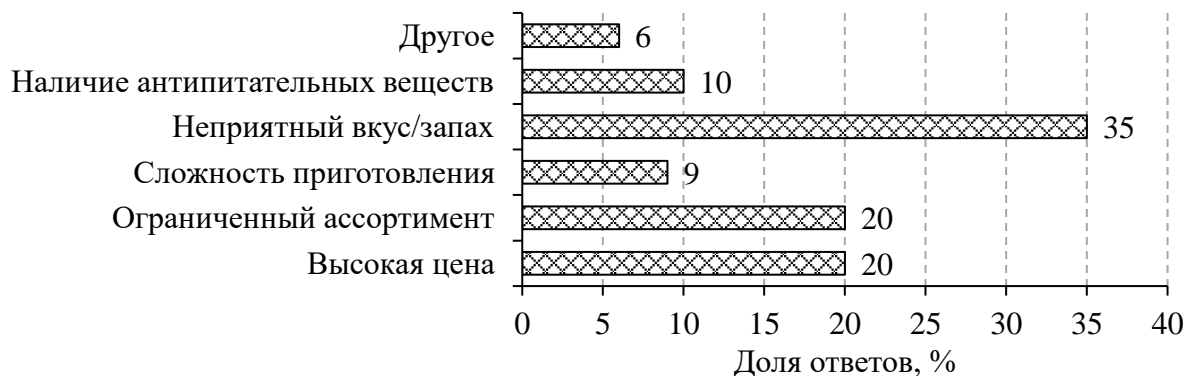


Рисунок 23 – Ограничивающие факторы при выборе растительных аналогов

Исходя из полученных данных, основной проблемой при выборе растительных аналогов, препятствующей их популяризации, является неприятный вкус/запах – 35 %. Одинаково часто (20 %) отмечаются ограниченность ассортимента и высокая цена представленных на рынке растительных аналогов. Таким образом, данные показывают, что необходимо учитывать возможность дополнительной модификации растительных белков с целью сглаживания растительного привкуса и получения альтернатив, в наибольшей степени схожих с мясными аналогами.

## **4.2 Разработка рецептур аналогов мясного полуфабриката на основе растительных белков**

### **4.2.1 Формирование качества мясных рубленых кулинарных изделий с оптимизированным аминокислотным профилем**

Растительные белки сегодня в больших объемах применяются в мясоперерабатывающей промышленности, что позволяет производить равноценную замену недостающего дорогостоящего мясного сырья, улучшать качественные характеристики готовой продукции, снижать себестоимость производимых пищевых систем, обогащать мясные продукты необходимыми для человека пищевыми веществами (пищевыми волокнами, витаминами и т. д.) [10; 12; 13; 14].

В последнее время на отечественном рынке появились новые виды растительного белка – пшеничный, льняной, нутовый и гороховый, технологические свойства которых еще не до конца изучены.

Возможность использования изолятов белков растительного происхождения в случае необходимости позволяет существенно улучшать аминокислотный состав традиционных блюд, входящих в рацион, в том числе спортсменов, а также людей, ведущих здоровый образ жизни.

В технологии мясных пищевых систем целесообразно использование изолятов и гидролизатов, так как затраты на производство мяса в среднем в 10 раз выше тех, что требуются для производства белков растительного происхождения [5; 16]. За счет биотехнологической модификации белков возможно получение белково-углеводных композитов с заданными функциональными свойствами для лечебных, диетических, эколого-профилактических и специальных (космических, аварийных и т. п.) рационов [16; 18].

Целью данного этапа исследования было определение оптимальной концентрации белкового гидролизата, полученного на основе гороха, в технологии мясных систем для получения выраженного технологического эффекта, заключающегося в замене рецептурного хлеба растительными белками, увеличении выхода готовых изделий, а также улучшении качественных характеристик мясных рубленых полуфабрикатов.

Сравнение пищевой ценности исходного сырья, гидролизата белка гороха и изолята белка сои представлено в таблице 31.

Таблица 31 – Пищевая ценность исходного сырья и изолятов белков нута и сои (на 100 г)

Показатель	Соя [20; 21]		Отклонение, абс. ед.	Горох		Отклонение, абс. ед.
	Сырье	Изолят		Сырье	Гидролизат	
Белки, г	36,5	86	+49,5	18,2 ± 0,4	85 ± 2,5	+66,8
Жиры, г	19,9	4	-15,9	9,4 ± 0,2	5 ± 0,4	-4,4
Углеводы, г	30,2	0,5	-28,7	57 ± 2,5	3 ± 0,5	-54
Энергетическая ценность, ккал	446	380	-66	385	407	+22

Пищевая ценность гидролизатов белков гороха позволяет применять их в технологии мясных рубленых полуфабрикатов для повышения пищевой ценности, в том числе биологической, а также для улучшения таких органолептических показателей, как консистенция, внешний вид, сочность, нежность, при одновременном снижении потерь при термической обработке.

Объектом исследования являются биточки, приготовленные согласно рецептуре № 416 из «Сборника технических нормативов» 1996 г. [70] (таблица 32). Для разработки контрольного и опытных образцов проектируемого полуфабриката использовали сырье и ингредиенты, произведенные в соответствии с требованиями нормативной документации. В качестве обогащающей добавки использовали образец 1.2 – изолят соевого белка 90 % Protein Company (ТУ 82.92.10-001-45868374-17) и образец 1.1 – гидролизат горохового белка, полученный в третьей главе (ТУ 10.89.19-003-40586197-2025). В качестве основного сырья при изготовлении рубленых полуфабрикатов использовали мясо котлетное из говядины II сорта с содержанием до 20 % соединительной ткани категории Б (ООО «СибАгро»).

Таблица 32 – Базовая рецептура биточков на одну порцию, г [23]

Наименование сырья и продуктов	Контроль		Образец 1.1		Образец 1.2	
	Брутто	Нетто	Брутто	Нетто	Брутто	Нетто
Говядина (котлетное мясо)	101	74	100	73	100	73
Хлеб пшеничный	18	18	–	–	–	–
Гидролизат горохового белка	–	–	7	7	–	–
Изолят соевого белка	–	–	–	–	7	7
Молоко 3,2 %	24	24	24	24	24	24
Вода	–	–	7	7	7	7
Сухари пшеничные	10	10	10	10	10	10
Масса полуфабриката	–	123	–	121	–	121
Масло сливочное	6	6	6	6	6	6
В ы х о д	–	100	–	100	–	100

В процессе разработки рецептур каждого блюда моделировали два варианта мясо-растительных рубленых изделий, используя изоляты белков различных растительных продуктов в количестве 7 % (замена с учетом сухих веществ хлеба): образец 1.1 – с гидролизатом белка гороха, образец 1.2 – с соевым белковым изолятом.

Предварительно замоченные в смеси молока и воды препараты белков растительного происхождения (4:1) вносили в фарш, измельченный на волчке с диаметром отверстий решетки 2 мм, тщательно перемешивали, вводили соль и перец. Полученную массу вторично измельчали на волчке. Из готовой котлетной массы разделяли изделия кругло-приплюснутой формы толщиной 2–2,5 см. Готовые полуфабрикаты жарили в пароконвектомате в режиме «конвекция + пар» при температуре 180 °С в течение 25 мин. Готовность продукта определяли термощупом.

Исследование свойств сырья и готовых изделий, обработка образцов продукции общественного питания проводили в лабораториях кафедры технологии питания и Едином лабораторном комплексе ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет».

В готовых изделиях определяли органолептические показатели, аминокислотный состав, функционально-технологические свойства (ВУС, ЖУС, устойчи-

вость, потери массы при тепловой обработке), а также изучали структурно-механические свойства фаршевых систем до и после термообработки.

На основе анализа органолептических показателей мясо-растительных рубленых полуфабрикатов, приготовленных различными способами, установлено, что жарка в пароконвектомате Rational SCC XS 5 в наибольшей степени отвечает требованиям внешнего вида согласно потребительским предпочтениям к данному виду продукции. Этот вид термической обработки полуфабрикатов позволяет в наибольшей степени сохранить общую форму образца и целостность поверхности.

Для определения экспериментального образца с повышенной пищевой ценностью, а также высокими потребительскими свойствами провели органолептическую оценку образцов по пятибалльной системе в сравнении с контрольным образцом (таблица 33).

Таблица 33 – Балльная оценка органолептических показателей качества образцов разрабатываемого полуфабриката после тепловой обработки

Показатель	Коэффициент значимости	Оценка качества, балл		
		Контрольный образец	Образец 1.1	Образец 1.2
Внешний вид	0,2	1,0 ± 0,02	1,0 ± 0,01	0,9 ± 0,01
Вид на разрезе	0,1	0,4 ± 0,01	0,4 ± 0,01	0,5 ± 0,01
Запах (аромат)	0,1	0,5 ± 0,05	0,4 ± 0,02	0,5 ± 0,01
Вкус и запах	0,4	1,9 ± 0,10	1,9 ± 0,12	1,6 ± 0,15
Консистенция (плотность, крошливость)	0,2	0,8 ± 0,01	0,9 ± 0,02	0,9 ± 0,02
<i>Общий балл</i>	–	4,6	4,6	4,4

Результаты показали, что образец с добавлением ГБГ не уступает контрольному образцу. При этом важно отметить, что наиболее успешным является опытный образец 1.1, внесение ГБГ позволяет придать более устойчивую текстуру и сохранить сочность готового изделия за счет удержания влаги. При внесении изолята соевого белка (образец 1.2) выявлено, что, несмотря на улучшение основных органолептических показателей, данное изделие имеет более плотную текстуру и сниженный уровень сохранения сочности готового изделия, что говорит о повышен-

ной всасываемости влаги внесенного продукта. Содержание соевого изолята придает продукту выраженный привкус сои и более светлый цвет, также остаются вкрапления внесенного продукта.

На следующем этапе изучены структурно-механические свойства фаршевых систем на структуромере СТ-2 до и после термообработки. Предварительно подготовленный образец продукта (цилиндрической или прямоугольной формы) сжимается в осевом направлении между двумя плоскими поверхностями (столиком и сжимающей пластиной – цилиндрическим зондом) до заданной процентной деформации в первый раз (первый цикл), затем давление сбрасывается (зонд поднимается на заданную высоту) и образец сжимается во второй раз (второй цикл).

Полученные в результате анализа кривые «сила – время» используются для количественной оценки параметров текстуры мясо-растительной системы (фарш). Графическое представление типичной кривой для разработанным пищевых систем (фарш) показано на рисунке 24, для готовых мясо-растительных рубленых полуфабрикатов после жарки в пароконвектомате – на рисунке 25.

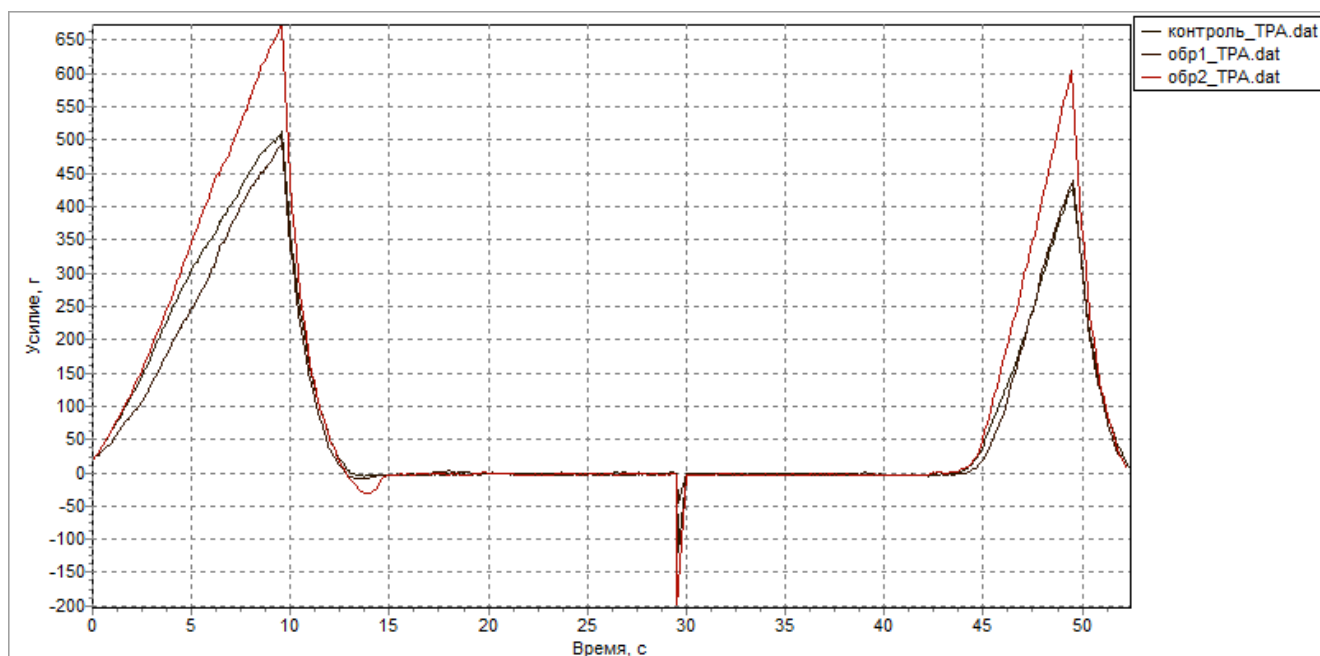


Рисунок 24 – Анализ профиля текстуры мясо-растительной системы (фарш)

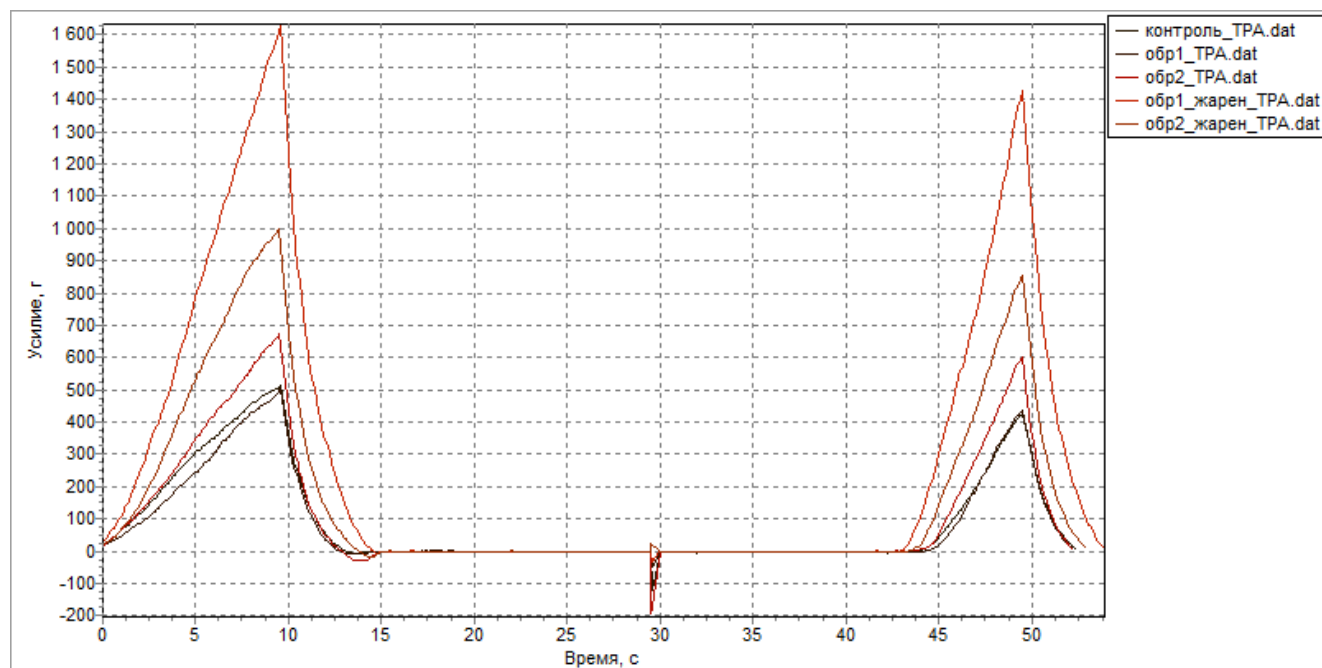


Рисунок 25 – Сравнительный анализ профиля текстуры изделий до и после тепловой обработки

Параметры текстуры контрольного образца и опытных образцов до и после жарки в пароконвектомате представлены в таблице 34.

Таблица 34 – Сравнительная оценка профиля текстуры контрольного образца и опытных образцов до и после жарки в пароконвектомате

Показатель	Контрольный образец	Образец 1.1		Образец 1.2	
		фарш	жареный	фарш	жареный
Твердость, g	514,5	505,5	516,0	673,0	1 630,5
Упругость, %	55,5	51,5	55,9	55,6	67,5
Когезия, %	45,2	49,5	45,3	51,5	61,5
Устойчивость, %	45,2	49,2	45,0	51,5	61,5
Пережевываемость, g	130,4	145,1	134,8	190,5	670,2
Липкость, g	230,5	227,4	231,2	345,5	998,5

При оценке текстуры анализируемых образцов с помощью инструментального метода выявлено, что образец 1.1 по структуре максимально приближен к контрольному образцу. При этом необходимо отметить, что при анализе показателей готовых изделий (жарка в пароконвектомате) образец 1.2 обладал повышенным

уровнем твердости и липкости. Данные показатели свидетельствуют об увеличении показателя пережевываемости, характеризующего общее число движений челюстно-лицевой части и длительность времени для перехода продукта в состояние, пригодное для глотания и наиболее легкого усвоения организмом содержащихся в его составе питательных веществ.

Основным требованием технологии производства рубленых полуфабрикатов является диспергентное состояние компонентов и связанное состояние влаги и жира в течение всего технологического процесса, поэтому качество и выход готовых изделий как дисперсионных систем определяется оптимальным развитием процессов влаго- и жиросвязывания при его приготовлении, а также устойчивостью при термической обработке [25].

Функционально-технологические свойства образцов разрабатываемого полуфабриката после тепловой обработки представлены в таблице 35.

Таблица 35 – Функционально-технологические свойства образцов разрабатываемого полуфабриката после тепловой обработки

Показатель	Контрольный образец	Образец 1.1	Образец 1.2
ВУС, %	65,4 ± 0,2	68,2 ± 0,2	67,6 ± 0,2
ЖУС, %	66,5 ± 0,2	71,5 ± 0,2	70,4 ± 0,2
Устойчивость	86,8	87,9	97,4
Потеря массы при тепловой обработке, %	22,0 ± 0,2	17,4 ± 0,2	16,8 ± 0,2

Замена хлеба растительными белками компенсируется повышением значений таких показателей, как ВУС (на 4 %) и ЖУС (на 7,5 %), что характеризует дополнительные потребительские свойства. Кроме того, установлено снижение потери массы при тепловой обработке в среднем на 22 %.

Устойчивость опытных образцов является обобщающим показателем, характеризующим развитие как влагосвязывающей способности мясных рубленых полуфабрикатов до термической обработки, так и ВУС и ЖУС после термической обработки (определяется отношением массы бульона и жира, выделившихся в процессе термической обработки, к массе фарша, взятого на исследование) [74].

Далее изучен аминокислотный скор образцов, приготовленных при жарке в пароконвектомате Rational SCC XS 5 [73] (таблица 36).

Таблица 36 – Сравнительный анализ аминокислотного сора контрольного образца и опытных образцов после жарки в пароконвектомате

Показатель	Аминокислотный скор (на 100 г), %		
	Контрольный образец	Образец 1.1	Образец 1.2
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

При исследовании аминокислотного состава экспериментальных образцов установлено высокое содержание ряда незаменимых аминокислот. Так, уровень лизина и изолейцина увеличился в 1,3–1,5 раза по сравнению с традиционными мясными полуфабрикатами. Наиболее существенно в образцах, в рецептуру которых включен растительный белок, увеличилось содержание таких незаменимых аминокислот, как валин (50–55 %), треонин (40–45 %), изолейцин (30–45 %) и лизин (37–38 %).

На основе выполненного расчета пищевой ценности разработанных изделий можно утверждать, что замена пшеничного хлеба в традиционной рецептуре на растительные белковые компоненты оказывает положительное влияние на баланс БЖУ (таблица 37).

Контрольный образец содержит больше углеводов и имеет более высокую калорийность, однако использование растительных белков позволяет снизить содержание углеводов почти на 30–40 %, а общую калорийность – на 7–8 %. При этом белковая составляющая увеличивается на 6–7 %.

Таблица 37 – Пищевая ценность разработанных изделий на 100 г

Показатель	Контрольный образец	Образец 1.1	Образец 1.2
Белки, г	13,41	13,69	14,27
Жиры, г	8,15	8,13	8,8
Углеводы, г	13,63	9,78	8,39
Калорийность, ккал	182,10	167,93	170,37

Таким образом, в ходе исследований установлено, что внесение растительных изолятов позволяет улучшить структурно-механические показатели и пищевую ценность при одновременном снижении калорийности, что повышает потребительские характеристики готовых изделий. Выявленные закономерности и положительный эффект внесения растительных изолятов формируют теоретическую и практическую базу дальнейшего исследования методов моделирования полностью растительных (веганских) аналогов, исключая использование продуктов животного происхождения, с целью создания продуктов нового поколения, отвечающих современным трендам здорового и осознанного питания.

#### **4.2.2 Математическое моделирование рецептуры аналога мясного рубленого изделия на основе растительного белка**

На сегодняшний день в производстве продуктов питания растительные белки используются в качестве структурообразующих ингредиентов в эмульсиях, пенах, гелях, напитках и матрицах, аналогичных мясным и молочным продуктам, обеспечивая стабилизацию системы, связывание воды и масла. При использовании растительных белков в качестве аналогов мяса экструзия с высоким содержанием влаги создает анизотропные волокнистые структуры с регулируемой консистенцией и сочностью, определяющие влажность, термомеханическую устойчивость, одновременно обеспечивая снижение содержания жира без ущерба для структуры [146].

В качестве замены мяса в аналоге мясного полуфабриката выступает соевый текстурат. С целью увеличения содержания белка в рецептуру проектируемого полуфабриката дополнительно вносятся ГБГ или ГБП, которые также являются структурообразователями [130; 145]. Выдвинута гипотеза о том, что в технологии аналога мясного рубленого изделия применение овсяной муки и пюре из свеклы возможно в качестве добавки, формирующей органолептические показатели, а также с целью снижения потерь в процессе производства и обеспечения пищевой ценности. Композиция специй, включая жидкий дым, подбиралась так, чтобы придать проектируемому аналогу мясного полуфабриката вкус и аромат мяса с учетом имеющихся в розничной сети наборов специй для мясных котлет. Варианты рецептуры разрабатываемого аналога рубленого кулинарного изделия представлены в таблице 38.

Таблица 38 – Рецептура аналогов мясных рубленых изделий

Рецептурный компонент	Образец 2.1		Образец 2.2	
	Масса, г			
	брутто	нетто	брутто	нетто
Фарш соевый текстурированный	11,5	11,5	11,8	11,8
Гидролизат белка гороха	21,6	21,6	–	–
Гидролизат белка подсолнечного шрота	–	–	22,2	22,2
Молоко альтернативное (овсяное)	28,4	28,4	22,2	22,2
Мука овсяная	9,0	9,0	8,9	8,9
Свекла отварная	18,0	10,8	19,6	11,1
Лук репчатый	11,4	9,0	17,4	14,8
Масло растительное	4,3	4,3	4,5	4,5
Соль поваренная	1,8	1,8	1,5	1,5
Перец черный молотый	0,9	0,9	0,7	0,7
Жидкий дым	0,9	0,9	0,7	0,7
Специи для котлет (соль, перец черный молотый, чеснок сушеный, майоран, паприка копченая)	1,8	1,8	1,5	1,5
<i>Выход полуфабриката</i>	–	100,0	–	100,0

Разработка рецептур аналогов мясных рубленых изделий представляет собой многокритериальную задачу, требующую одновременного учета пищевой ценно-

сти, ФТС, органолептических характеристик и экономической эффективности. Для системного решения данной задачи применяются методы математического моделирования, позволяющие перевести технологические требования в формализованные ограничения и целевую функцию, а также найти оптимальный состав сырьевой композиции.

Цель моделирования – определение массовых долей рецептурных компонентов  $x_i$ , позволяющих обеспечивать выполнение нормативных требований при минимальной стоимости сырья.

1. Целевая функция – минимизация себестоимости сырьевого набора:

$$Z = \sum_{i=1}^n C_i \cdot x_i \rightarrow \min, \quad (6)$$

где  $C_i$  – стоимость единицы массы  $i$ -го компонента, р./кг;  $x_i$  – массовая доля  $i$ -го компонента в рецептуре, кг/100 кг.

2. Система ограничений.

2.1. Ограничения по содержанию основных нутриентов:

– содержание белка – для обеспечения пищевой ценности, сопоставимой с традиционными мясными полуфабрикатами:

$$\sum_{i=1}^n B_i \cdot x_i \geq P_{\min}, \quad (7)$$

где  $B_i$  – массовая доля белка в  $i$ -м компоненте, %;  $P_{\min}$  – минимально допустимое содержание белка в готовом продукте (например, 12–15 %);

– содержание жира – для контроля калорийности и создания заданной сочности:

$$\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i \leq F_{\max}, \quad (8)$$

где  $F_i$  – массовая доля жира в  $i$ -м компоненте, %;  $F_{\max}$  – максимально допустимое содержание жира.

## 2.2. Функционально-технологические ограничения:

– влагоудерживающая способность (ВУС) – критический параметр для сочности и выхода продукта:

$$\sum_{i=1}^n WRC_i \cdot x_i \geq WRC_{\min}, \quad (9)$$

где  $WRC_i$  – ВУС  $i$ -го компонента, %;

– водосвязывающая способность – для стабильности фаршевой системы:

$$\sum_{i=1}^n EC_i \cdot x_i \geq EC_{\min}, \quad (10)$$

где  $EC_i$  – относительный показатель ВСС  $i$ -го компонента.

## 2.3. Технологические и рецептурные ограничения:

– баланс массы:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 100; \quad (11)$$

– минимальные и максимальные доли отдельных компонентов, основанные на технологической целесообразности и органолептических показателях (например, доля свеклы для цвета и влаги, доля специй для вкуса):

$$L_i \leq x_i \leq U_i, \quad (12)$$

где  $L_i$  и  $U_i$  – нижняя и верхняя границы для  $i$ -го компонента.

Для моделирования использовали следующие исходные данные. В таблице 39 систематизированы ключевые параметры для основных ингредиентов.

Таблица 39 – Характеристики основных рецептурных компонентов

Компонент	Белок, % ( $B_i$ )	Жир% ( $F_i$ )	ВУС, % ( $WRC_i$ )	Цена 1 кг, р. ( $C_i$ )
Соевый текстурат	50,0	1,0	250	350
Гидролизат гороха	80,0	6,0	180	3 470
Гидролизат подсолнечного шрота	65,0	8,0	160	1 690
Мука овсяная	12,0	6,5	140	150
Пюре свекольное	1,5	0,2	400	80
Масло растительное	0,0	99,9	0	200

При постановке оптимизационной задачи для варианта с гидролизатом горохового белка использовали следующие переменные:

$x_1$  – соевый текстурат;

$x_2$  – гидролизат гороха;

$x_3$  – молоко овсяное;

$x_4$  – мука овсяная;

$x_5$  – пюре свекольное;

$x_6$  – лук;

$x_7$  – масло растительное;

$x_8$  – соль и специи.

Целевая функция:

$$Z = 3,5x_1 + 4,2x_2 + 1,2x_3 + 1,5x_4 + 0,8x_5 + 0,7x_6 + 2,0x_7 + 5,0x_8 \rightarrow \min.$$

Основные ограничения:

- содержание белка:  $50x_1 + 80x_2 + 1x_3 + 12x_4 + 1,5x_5 + 1x_6 \geq 14 \%$ ;
  - содержание жира:  $1x_1 + 6x_2 + 2x_3 + 6,5x_4 + 0,2x_5 + 0x_6 + 99,9x_7 \leq 10 \%$ ;
  - значение ВУС:  $250x_1 + 180x_2 + 90x_3 + 140x_4 + 400x_5 + 85x_6 \geq 60$ ;
  - масса нетто свекольного пюре:  $x_5 \geq 10,8$ ;
  - масса масла:  $x_7 \leq 4,3$  (масса масла из таблицы 39: 5,4 г на 125 г  $\rightarrow \sim 4,3 \%$ ).
- $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 = 100$ ;  $x_i \geq 0$ .

Таким образом, решение сформулированной задачи линейного программирования (с использованием «Решение задач оптимизации» в MS Excel) позволяет получить количественно обоснованную рецептуру, представленную в таблице 40.

Таблица 40 – Сравнение исходной и оптимизированной рецептуры с ГБГ

Параметр	Доля в общем выходе, %		Нормативное требование
	Исходная рецептура	Оптимизированная рецептура	
Соевый текстурат	11,5	13,2	–
Гидролизат гороха	21,6	19,8	–
Мука овсяная	9,0	10,0	
Пюре свекольное	10,8	10,8	–
Масло растительное	4,3	3,9	–
Расчетные показатели			
Содержание белка, %	14,5	14,0	Не менее 14,0
Содержание жира, %	8,2	9,8	Не более 10,0
Себестоимость 100 кг сырья, р.	820,51	764,7	min

Оптимизированная рецептура для аналога мясных рубленых изделий с применением гидролизата белка гороха, полученная в результате моделирования, полностью удовлетворяет заданным требованиям по содержанию белка и жира при одновременном снижении себестоимости сырьевого набора примерно на 4 %.

Основной экономический эффект достигнут за счет корректировки соотношения дорогостоящих белковых компонентов (соевого текстурата и гидролизата)

в пределах, допускаемых технологическими ограничениями по ВУС и структурным свойствам.

Предложенная модель является гибкой и позволяет оценить изменение себестоимости при ужесточении требований к белку или при колебаниях цен на сырье.

По аналогии моделировали другие рецептуры. Итоговые рецептуры растительных аналогов мясных рубленых изделий с учетом всех критериев оптимизации представлены в таблице 41.

Таблица 41 – Оптимизированные варианты рецептуры аналогов мясных рубленых изделий

Ингредиент	Расход ингредиентов на 100 кг (без учета потерь), кг			
	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

На следующем этапе проводили органолептическую оценку, изучали структурно-механические (реологические) показатели разработанных аналогов мясных рубленых изделий и разрабатывали технологические режимы производства.

### 4.3 Исследование реологических показателей и сенсорная оценка модельных образцов аналогов мясных рубленых изделий

В данном параграфе приведены результаты органолептического анализа и экспериментальных исследований по установлению зависимости реологических характеристик аналогов мясных рубленых изделий от внесения ГБГ и ГБП в фаршевые системы на основе соевого текстурата.

Производство опытных образцов аналогов мясных рубленых изделий осуществляли в соответствии с технологической схемой на рисунке 26 [73].

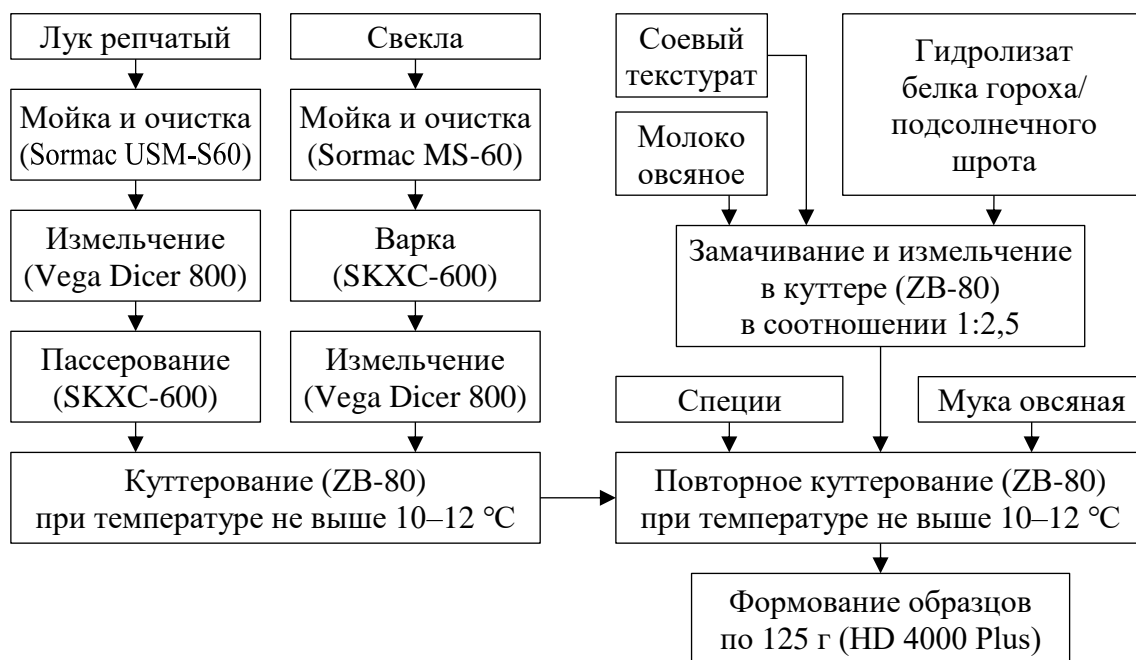


Рисунок 26 – Аппаратно-технологическая схема получения растительных аналогов мясных рубленых изделий

ГБП и ГБП замачивали с соевым текстуратом в овсяном молоке в соотношении 1:2,5 в куттере ZB-80 (FoodAtlas, Китай) с последующим измельчением.

Лук репчатый и свеклу промывали и очищали с помощью Sormac USM-S60 (Sormac, Европа) и Sormac MS-60 (Sormac, Европа) соответственно, после чего подготовленные овощи варили/пассеровали в электрической сковороде SKXC-600

(Youji Technology Co. Ltd., Китай), измельчали в овощерезке Vega Dicer 800 (VegaSystems, Китай) и куттировали до однородности в ZB-80 (FoodAtlas, Китай).

В куттер к измельченному растительному аналоговому фаршу вносили специи (соль, перец черный молотый, чеснок сушеный, майоран, паприка копченая, жидкий дым), овсяную муку, измельченную готовую овощную смесь и подвергали повторному куттерованию в ZB-80 (FoodAtlas, Китай).

Полученный растительный аналоговый фарш делили и формовали массой по 125 г с помощью HD 4000 Plus (Abm, Италия).

Термическую обработку полученных растительных аналогов мясных рубленых изделий осуществляли в один этап методом традиционного обжаривания на растительном масле с каждой стороны в течение 4 мин.

Номенклатуру показателей для оценки модельных образцов формировали с учетом решения следующей задачи – формирование доказательной базы эффективности ГБГ и ГБП при получении хорошего качества растительных аналогов мясных фаршей.

Оценку растительных аналогов мясных фаршей осуществляли по следующим основным показателям:

- органолептические показатели – внешний вид, консистенция и цвет, состояние после термической обработки;
- физико-химические показатели: массовая доля влаги, водосвязывающая способность, влагоудерживающая и жирудерживающая способность.

Для оценки показателей применяли общеизвестные доступные методы исследований; полученные данные статистически обрабатывали.

Результаты оценки органолептических показателей (ГОСТ 9959-2015) показали достаточную схожесть внешнего вида образцов, полученных из разных сырьевых композиций; цвет фаршевых систем розовый с незначительными вариациями; консистенция однородная, в меру плотная, слегка мажущаяся, при включении в состав ГБП – более мягкая на ощупь, пластичная, однородная. Все образцы хорошо сохраняли форму, интенсивного отделения влаги не наблюдалось.

Результаты органолептической оценки растительных аналогов мясных рубленых изделий после тепловой обработки представлены в таблице 42.

Таблица 42 – Органолептическая оценка образцов

Показатель	Образец 2.1	Образец 2.2
Внешний вид		
	Форма четко выраженная, масса однородная, без трещин на поверхности	
Вид на разрезе	Фарш хорошо перемешан, отсутствуют комочки внесенных гидролизатов и ненабухших вкраплений соевого текстурата	
Цвет:		
– внешний	Золотистый, коричневый	Золотистый, коричневый
– на срезе	Коричнево-розовый	Коричневый
Запах	Жареного изделия с ароматом копченой паприки и жидкого дыма	
Вкус	Чистый, нежный, чуть сладковатый, копченый	Чистый, чуть сладковатый, копченый

Исследуемые органолептические показатели образцов также оценивали по пятибалльной шкале основных признаков: внешний вид и вид на разрезе, цвет, вкус и запах, консистенция (таблица 43).

Таблица 43 – Балльная оценка органолептических показателей качества растительных аналогов мясных рубленых изделий после тепловой обработки

Показатель	Максимальная оценка, балл	Оценка качества, балл	
		Образец 2.1	Образец 2.2
Внешний вид и вид на разрезе	0,75	0,55 ± 0,05	0,45 ± 0,05
Цвет	0,50	0,50 ± 0,1	0,40 ± 0,1
Вкус и запах	2,50	2,10 ± 0,1	2,00 ± 0,1
Консистенция	1,25	1,10 ± 0,1	1,00 ± 0,1
<i>Общий балл</i>	–	4,25 ± 0,1	3,85 ± 0,1

Из полученных данных следует, что более высокими органолептическими характеристиками обладает образец 2.1 с ГБГ. Установлено, что внесение в рецептуру пюре из свеклы в количестве 13–14 % позволяет придать продукту более нежную консистенцию и сочность. При этом образец 2.2 имеет более плотную текстуру и меньшую сочность, так как содержит 22,2 % ГБП, обладающего меньшей водосвязывающей способностью в сравнении с ГБГ, что приводит к более быстрому высвобождению влаги.

Для последующей оценки текстуры растительных аналогов мясных рубленых изделий с использованием соевого текстурата и ГБГ (образец 2.1) и ГБП (образец 2.2) применяли инструментальный метод «Анализ профиля текстуры» (ТРА). В таблице 44 приведены данные экспериментального исследования структурно-механических показателей образцов растительных аналогов мясных рубленых изделий, полученные на приборе «Структурометр СТ-2».

Таблица 44 – Сводные экспериментальные данные анализа профиля текстуры растительных аналогов мясных рубленых изделий

Параметр	Значение, %	
	Образец 2.1	Образец 2.2
Твердость	67,30 ± 1,0	50,17 ± 1,0
Упругость	55,46 ± 1,0	50,26 ± 1,0
Когезия	51,36 ± 1,0	49,28 ± 1,0
Липкость	34,56 ± 1,0	24,72 ± 1,0
Пережевываемость	19,17 ± 1,0	12,43 ± 1,0



Оценка профиля текстуры анализируемых образцов показала, что образец 2.2 (на основе ГБП и соевого текстурата) по реологическим характеристикам уступает образцу 2.1 (с ГБГ и соевым текстуратом):

- твердость выше на 17,13 % (67,30 % против 50,17 %);
- упругость – на 5,20 % (55,46 % против 50,26 %);
- липкость – на 9,84 % (34,56 % против 24,72 %);
- пережевываемость – на 6,74 % (19,17 % против 12,43 %).

Далее в соответствии с задачами исследования изучены ФТС растительных аналогов мясных рубленых изделий.

Согласно результатам исследования образец 2.1 с содержанием ГБГ превосходит образец 2.2 по содержанию белка (22,7 % против 18,3 %) и всем показателям ФТС (ВСС на 6 %, ВУС 5 %, ЖУС 5 %), что подтверждает более высокую технологическую эффективность гидролизата горохового белка (таблица 45).

Таблица 45 – Сравнительный анализ функционально-технологических показателей образцов аналоговых фаршевых систем

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

Сравнительный анализ значений ВСС показал положительное влияние ГБГ и ГБП (84 % и 70 % соответственно), что напрямую обусловлено снижением количества несвязанной воды, выступающей дисперсной средой для метаболизма микроорганизмов и ряда химических реакций, что согласуется с данными исследований [130; 131].

Результаты, полученные при определении ВУС образцов модельных фаршей, коррелируют с данными по показателю ВСС и для образцов 1.1 и 1.2 составляют 75,42 % и 70,18 % соответственно (рисунок 27).

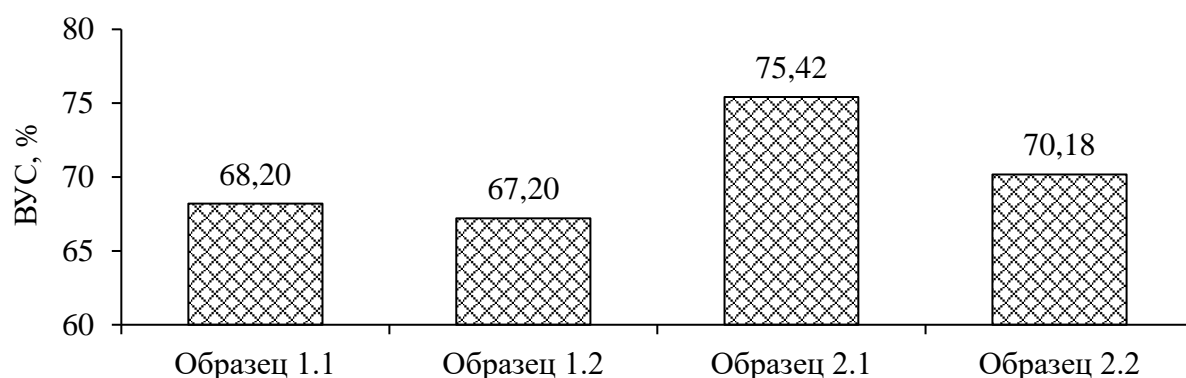


Рисунок 27 – Сравнительная оценка влагоудерживающей способности мясо-растительных и растительных аналогов мясных рубленых изделий

Увеличение ВУС в образцах 2.1 и 2.2 с соевым текстуратом в среднем на 5,07 % обусловлено высокими гидратационными свойствами соевого белка, позволяющими связывать и удерживать влагу в своей структуре, формируя устойчивую белковую матрицу. Данное преимущество обуславливает выбор соевого текстурата как компонента в составе растительных аналогов мясных рубленых изделий, позволяющего не только имитировать волокнистую структуру мяса, но и достигнуть улучшенных показателей сочности и стабильности конечного продукта, компенсируя возможные потери влаги при тепловой обработке.

Химический состав и ФТС растительных аналогов мясных рубленых изделий представлены в таблице 46.

Таблица 46 – Химический состав и функционально-технологические свойства растительных аналогов мясных рубленых изделий

Показатель	Значение, %	
	Образец 2.1	Образец 2.2
Массовая доля влаги	54,50 ± 3,46	56,40 ± 3,62
Массовая доля белка	22,70 ± 0,10	18,30 ± 0,10
Массовая доля жира	5,0 ± 0,25	6,50 ± 0,30
Массовая доля золы	2,80 ± 0,15	3,20 ± 0,18
Стабильность	85,64 ± 2,50	78,35 ± 3,10
ВУС	75,42 ± 4,19	70,18 ± 3,95
ЖУС	80,76 ± 5,12	75,23 ± 4,56

На основе полученных данных установлено, что применение ГБГ (образец 2.1) в рецептуре растительных аналогов мясных рубленых изделий обеспечивает формирование более сбалансированной и функциональной белковой матрицы по сравнению с ГБП (образец 2.2).

При этом образец 2.1 характеризуется повышенным содержанием белка (22,7 %) и более высокими ФТС: ВУС составляет 75,42 %, в то время как ЖУС – 80,76 %, что на 5–7 % превышает значения образца 2.2. Данные показатели обусловлены высокой водосвязывающей и эмульгирующей активностью белков гороха, способных стабилизировать растительную систему, препятствуя отделению влаги и жира при тепловой обработке [109], что позволяет повысить выход готовой продукции.

Результаты исследования физико-химических характеристик опытных образцов готовых растительных аналогов мясных рубленых изделий представлены в таблице 47 [71].

Таблица 47 – Физико-химические показатели опытных образцов растительных аналогов мясных рубленых изделий

Показатель	Образец 2.1	Образец 2.2
Влага, %	54,50 ± 3,46	56,40 ± 3,62
Белок, %	22,70 ± 0,10	18,30 ± 0,10
Жир, %	5,0 ± 0,25	6,50 ± 0,30
Зола, %	2,80 ± 0,15	3,20 ± 0,18
Соотношение:		
– белка и жира	1,0:4,5	1,0:2,8
– белка и воды	1,0:2,4	1,0:3,1
Потери при тепловой обработке, %	8,0 ± 0,08	10,0 ± 0,06

Полученные результаты исследования физико-химических показателей позволяют сделать вывод, что образец 2.1 на основе ГБГ 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.

При этом оба образца соответствуют требованиям к влажности и зольности для полуфабрикатов данного типа.

В таблице 48 представлены результаты оценки микробиологических показателей растительных аналогов мясных рубленых полуфабрикатов.

Таблица 48 – Микробиологические показатели растительных аналогов мясных рубленых полуфабрикатов

Показатель	Образец 2.1	Образец 2.2
БГКП (колиформы)	Не обнаружено	Не обнаружено
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы	Не обнаружено	Не обнаружено
<i>Staphylococcus aureus</i>	Не обнаружено	Не обнаружено
<i>Listeria monocytogenes</i>	Не обнаружено	Не обнаружено
<i>E. coli</i>	Не обнаружено	Не обнаружено
КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	8·10 <sup>3</sup>	5·10 <sup>3</sup>

Растительные аналоги мясных рубленых полуфабрикатов (образцы 2.1 и 2.2) по всем контролируемым микробиологическим показателям соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011. Полученные результаты подтверждают безопасность разработанных продуктов и технологическую корректность применяемых решений, что позволяет рекомендовать данные образцы к дальнейшему внедрению в производство.

Таким образом, результаты исследования показали, что использование в рецептурах растительных аналогов мясных рубленых изделий ГБГ и ГБП позволяет повысить их ВСС, ВУС, ЖУС, что облегчает процесс формования изделий и минимизирует потери при тепловой обработке. Модельные образцы характеризуются хорошими органолептическими показателями. Микробиологические показатели остаются на уровне требований ТР ТС 021/2011. Вместе с тем далее важно оценить биологическую ценность растительных аналогов мясных рубленых изделий.

#### **4.4 Анализ пищевой и биологической ценности растительных аналогов мясных рубленых изделий**

В данном параграфе представлены результаты исследования, направленного на обоснование разработки растительных аналогов мясных рубленых изделий с использованием ГБГ и ГБП с заданными свойствами, включая сравнительную оценку рецептурного состава, анализ пищевой и энергетической ценности, а также изучение сбалансированности аминокислотного профиля и биологической ценности разработанных изделий. При этом предполагается установить зависимость изменения реологических характеристик и ФТС растительных аналогов мясных рубленых изделий от внесения ГБГ и ГБП и замены мясного сырья соевым текстуратом. Проведенный анализ позволит оценить влияние и возможную актуальность использования растительных гидролизатов с соевым текстуратом при создании растительных аналогов мясных рубленых изделий.

Количественное содержание основных пищевых веществ определяли по справочным данным о химическом составе сырья. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах устанавливали на основе МР 2.3.1.2432-08. Принимали следующие усредненные значения для взрослого человека: физиологические потребности в энергии – 3 000 ккал/сут, белках – 80 г/сут, жирах – 80 г/сут, углеводах – 400 г/сут.

Сравнительная оценка сбалансированности рецептурного состава растительных аналогов мясных рубленых изделий представлена в таблице 49.

Таким образом, растительные аналоги мясных рубленых изделий (образцы 2.1 и 2.2) характеризуются высокими показателями пищевой и энергетической ценности, что подтверждается расчетными данными. Оба образца демонстрируют схожие отклонения состава относительно эталона 1:1:5, выражающиеся в высоком содержании белка и недостатке углеводов, что подтверждается результатами определения ИСПС (0,48 и 0,61).

Таблица 49 – Сравнительная оценка сбалансированности рецептурного состава растительных аналогов мясных рубленых изделий

Показатель	Образец 2.1	Образец 2.2
Массовая доля, %:		
– жира	5,0	6,5
– белка	22,7	18,3
– углеводов	11,9	12,4
– сухих веществ	42,0	43,5
Соотношение Ж:Б:У	1:4,5:2,4	1:2,8:1,9
Стандарт соотношения Ж:Б:У	1:1:5	
Индекс сбалансированности рецептурного состава (ИРСР, $U_p$ )	0,48	0,61
Энергетическая ценность, ккал/кДж	188,3/791,4	184,8/776,9
Стандарт энергетической ценности, кДж	12 560,4	
Индекс сбалансированности энергетической ценности (ИСЭЦ, $U_3$ )	0,063	0,062

При этом образец 2.2 демонстрирует сбалансированность, близкую к эталонным значениям (1,0), что обусловливается меньшим содержанием белка в сравнении с образцом 2.1, однако характеризуют корректность подобранной рецептуры растительных аналогов мясных рубленых изделий с целью достижения повышенного содержания белка и пониженного – углеводов.

Сравнительный анализ аминокислотного профиля полученных изделий и эталонного белка представлен в таблице 50.

Исследование содержания незаменимых аминокислот в опытных образцах по отношению к эталону ФАО/ВОЗ показало, что разработанные растительные аналоги мясных рубленых изделий превосходят эталон по большинству аминокислот. 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 растительных белковых гидролизатов позволяет достигнуть сбалансированного аминокислотного состава продукта, приближающегося к эталонным требованиям ФАО/ВОЗ.

Таблица 50 – Сравнительный анализ аминокислотного профиля образцов

Незаменимая аминокислота	Эталонный белок		Образец 2.1		Образец 2.2	
	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
Изолейцин	40,00	100,00	88,10	220,25	46,20	115,50
Лейцин	70,00	100,00	112,46	160,66	65,80	94,00
Лизин	55,00	100,00	147,65	268,45	64,80	117,80
Метионин+ цистеин	35,00	100,00	71,69	204,83	30,40	86,90
Треонин	40,00	100,00	111,56	278,90	48,60	121,50
Триптофан	10,00	100,00	86,23	862,30	10,20	102,00
Фенилаланин+ тирозин	60,00	100,00	79,08	131,80	75,40	125,70
<i>ИСАС</i>	1,00		0,99		0,87	
<i>КУАС</i>	1,00		0,72		0,89	
<i>ПСИ, %</i>	0		27,41		4,60	
<i>Критерий Харрингтона</i>	1,00		0,97		0,13	
<i>Биологическая ценность, %</i>	100,00		72,34		30,40	

В таблице 51 представлен расчет показателей сбалансированности и биологической ценности растительных аналогов мясных рубленых изделий.

Результаты сравнительного анализа аминокислотного состава и показателей биологической ценности белка опытных образцов растительных аналогов мясных рубленых изделий показали высокую сбалансированность обоих вариантов по отношению к эталону ФАО/ВОЗ.

Биологическая ценность белка для образцов 2.1 и 2.2 составила 30,4 % и 31,2 % соответственно. При этом индекс сбалансированности аминокислотного состава (ИСАС) составил 0,869 и 0,891, коэффициент утилитарности аминокислотного состава (КУАС) – 0,892 и 0,879, показатель сопоставимой избыточности (ПСИ) – 4,62 % и 5,18 %, коэффициент различия аминокислотных скоров (КРАС) – 25,8 % и 19,6 %, обобщенный критерий Харрингтона – 0,128 и 0,119.

Таблица 51 – Оценка сбалансированности и биологической растительных аналогов мясных рубленых изделий

Показатель	Образец 2.1								Образец 2.2							
	Валин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Метионин + цистин	Треонин	Триптофан	Фенилаланин + тирозин	Валин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Метионин + цистин	Треонин	Триптофан	Фенилаланин + тирозин
Содержание незаменимых аминокислот ( $A_j$ ):																
мг/г белка	68,5	46,2	65,8	64,8	30,4	48,6	10,2	75,4	62,3	48,0	66,1	61,5	31,2	43,8	10,0	71,5
г/100 г белка	6,85	4,62	6,58	6,48	3,04	4,86	1,02	7,54	6,23	4,8	6,61	6,15	3,12	4,38	1,0	7,15
Эталонное значение для взрослых ( $A_{эj}$ ):																
мг/г белка	50,0	40,0	70,0	55,0	35,0	40,0	10,0	60,0	50,0	40,0	70,0	55,0	35,0	40,0	10,0	60,0
г/100 г белка	5,0	4,0	7,0	5,5	3,5	4,0	1,0	6,0	5,0	4,0	7,0	5,5	3,5	4,0	1,0	6,0
Минимум в продукте, мг/г белка	10,2								10,0							
Соотношение $A_j/A_{эj}$	1,37	1,16	0,94	1,18	0,87	1,22	1,02	1,26	1,25	1,20	0,94	1,12	0,89	1,10	1,0	1,19
Аминокислотный скор (АКС), %	137,1	116,2	94,4	117,6	86,5	122,2	101,7	126,4	125,1	120,4	94,4	111,8	88,8	110,3	100	119,2
Сумма незаменимых аминокислот:																
эталонная для взрослых	36,0								36,0							
расчетная	40,99								39,44							
Коэффициент утилитарности аминокислотного сора (КУАС)	0,892								0,879							
$C_{\min}$	0,87								0,89							
Коэффициент утилитарности аминокислоты (КУНА)	1,00	1,00	0,94	1,00	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	1,00	0,89	1,00	1,00	1,00

Продолжение таблицы 51

Показатель	Образец 2.1								Образец 2.2							
	Валин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Метионин + цистин	Треонин	Триптофан	Фенилаланин + тирозин	Валин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Метионин + цистин	Треонин	Триптофан	Фенилаланин + тирозин
Индекс сбалансированности аминокислотного состава (ИСАС)	0,869								0,891							
$C_{\min} \times A_{эj}$	4,35	3,48	6,09	4,79	3,03	3,48	0,87	5,22	4,45	3,56	6,23	4,90	3,11	3,56	0,89	5,34
$A_j - C_{\min} \times A_{эj}$	2,5	1,14	0,49	1,69	0,01	1,38	0,15	2,32	1,78	1,24	0,38	1,25	0,01	0,82	0,11	1,81
Сумма значений ( $A_j - C_{\min} \times A_{эj}$ )	9,68								7,4							
Показатель сопоставимой недостаточности (ПСИ), %	4,62								5,18							
Обобщенный критерий Харрингтона ( $D_i$ )	0,128								0,119							
Различие аминокислотного сора (РАС)	0,50	0,29	0,07	0,31	0	0,35	0,15	0,39	0,36	0,31	0,05	0,23	0	0,21	0,11	0,30
Сумма РАС	2,06								1,57							
Коэффициент различия аминокислотных скоров (КРАС), %	25,8								19,6							
Биологическая ценность (БЦ), %	30,4								31,2							

Согласно исследованиям лимитирующей аминокислотой в обоих образцах является метионин + цистин с аминокислотным скором 86,9 % в образце 2.1 и 89,1 % в образце 2.2. При этом высокое содержание серосодержащих аминокислот в ГБП (25,8 мг/г) в сравнении с ГБГ (24,7 мг/г) определяет преимущество образца 2.2 по биологической ценности и индексу сбалансированности аминокислотного состава. Несмотря на это, превосходство горохового гидролизата над подсолнечным по содержанию лизина (на 4,5 мг/г), валина (на 12,5 мг/г), треонина (на 10,7 мг/г) определяет преимущество образца 2.1 по сумме незаменимых аминокислот.

Представленные результаты доказывают, что введение растительных белковых гидролизатов в рецептуру растительных аналогов мясных рубленых изделий совместно с соевым текстуратом позволяет значительно повысить биологическую ценность продукта, приблизив аминокислотный состав к эталонному белку, что подтверждает эффективность разработанных растительных аналогов мясных рубленых изделий и открывает возможности для дальнейшего совершенствования рецептур с целью снижения содержания лимитирующих аминокислот и повышения пищевой и биологической ценности изделия.

Расчет покрытия суточной потребности в белках, жирах и углеводах для разработанных растительных аналогов представлен в таблице 52.

Таблица 52 – Расчет суточной потребности в пищевых веществах

Показатель	Суточная потребность, г	Содержание, г/100 г		Степень удовлетворения суточной потребности, %	
		Образец 2.1	Образец 2.2	Образец 2.1	Образец 2.2
Белок	85	22,7	18,3	26,7	21,5
Жиры	87	5,0	6,5	5,8	7,5
Углеводы	373	11,9	12,4	3,2	3,3
Пищевые волокна	25	5,5	5,8	22	23,2

Установлено, что разработанные растительные аналоги мясных рубленых изделий позволяют удовлетворять суточную потребность в белке на 25–26 %, в пищевых волокнах на 20–21 %, в жирах на 10 %, в углеводах на 3–4 %.

#### 4.5 Расчет экономической эффективности

Для расчета себестоимости производства 1000 кг растительных аналогов мясных рубленых изделий использовали основные компоненты, входящие в состав рецептуры, традиционно представленные на рынке. Расчет себестоимости осуществляли на основе оптовых цен поставщиков, однако не учитывали амортизацию оборудования и другие издержки, включенные в процесс производства. Себестоимость основного входящего сырья представлена в таблице 53.

Таблица 53 – Себестоимость основного входящего сырья и конечных растительных аналогов мясных изделий

Наименование сырья	Стоимость 1 кг, р.	Образец 2.1		Образец 2.2	
		Масса, кг	Сумма, р.	Масса, кг	Сумма, р.
Фарш соевый текстурированный	350	13,2	4 620,0	13,4	4 690,0
Гидролизат белка гороха	3 470	19,8	68 706,0	–	–
Гидролизат белка подсолнечного шрота	1 690	–	–	18,6	31 434,0
Молоко овсяное	144 р/л	28,4 л	4 089,6	27,8 л	4 003,2
Мука овсяная	150	10,0	1 500,0	11,1	1 665,0
Свекла	80	10,8	864,0	10,8	864,0
Лук репчатый	45	9,0	405,0	9,0	405,0
Масло растительное	200 р/л	3,9 л	780,0	3,9 л	780,0
Соль	24	1,8	43,2	1,9	45,6
Перец черный молотый	570	0,9	513,0	0,9	513,0
Жидкий дым	410	0,9 л	369,0	0,9 л	369,0
Специи для котлет (чеснок сушеный, майоран, паприка копченая)	1 120	1,3	1 456,0	1,7	1 904,0
<i>Итого, р.</i>	–	–	83 345,8	–	46 672,8
<i>Себестоимость 100 г, р.</i>	–	–	83,3	–	46,7

На основе проведенных расчетов себестоимости производства партии 1000 кг растительных аналогов мясных рубленых изделий себестоимость за 100 г составит 83,3 р. (образец 2.1) и 46,7 р. (образец 2.2) соответственно.

Таким образом, при внедрении выработанных растительных аналоговых полуфабрикатов в массовом сегменте рекомендуется использовать предложенную рецептуру с добавлением ГБГ или ГБП и соевого текстурата. Стоит отметить, что дополнительной экономической эффективности можно достичь за счет оптовых закупок или формирования собственного цикла производства ГБГ и ГБП и применения современных упаковочных решений.

#### Выводы по главе 4

В результате проведенных исследований разработаны и научно обоснованы рецептуры и технологии производства аналогов мясных рубленых полуфабрикатов на основе растительных белковых гидролизатов.

Проведенный опрос потребителей ( $n = 500$ ) выявил высокий потенциал рынка растительных аналогов: 65 % респондентов потребляют такую продукцию не реже трех раз в неделю, при этом 42 % опрошенных придерживаются флекситарного типа питания. Основным фактором, сдерживающим распространение растительных аналогов, является неприятный вкус/запах (35 %), что подтверждает необходимость технологической модификации растительных белков для улучшения органолептических характеристик.

Установлена эффективность замены пшеничного хлеба в рецептуре мясных рубленых полуфабрикатов на растительные белковые гидролизаты (ГБГ и соевый изолят). Показано, что образец с добавлением ГБГ (образец 1.1) по органолептическим показателям не уступает контрольному образцу, при этом характеризуется улучшенными функционально-технологическими свойствами: повышение ВУС на 4 %, ЖУС на 7,5 % и снижение потерь при тепловой обработке на 22 %. Инструментальная оценка текстуры подтвердила, что образец с ГБГ по структурно-меха-

ническим характеристикам максимально приближен к традиционному мясному продукту.

С использованием методов линейного программирования решена оптимизационная задача минимизации себестоимости сырьевого набора при соблюдении заданных ограничений по содержанию белка (не менее 14 %), жира (не более 10 %) и функционально-технологическим свойствам. Разработана аппаратно-технологическая схема получения растительных аналогов мясных рубленых изделий, включающая подготовку сырья, замачивание и измельчение соевого текстурата с гидролизатами в овсяном молоке, куттерование с овощными компонентами и специями, формование и термическую обработку. Установлены оптимальные технологические параметры, обеспечивающие стабильность фаршевых систем и высокое качество готовой продукции.

Сравнительная оценка двух вариантов растительных аналогов показала, что образец с ГБГ (образец 2.1) превосходит образец с ГБП (образец 2.2) по органолептическим характеристикам (общая оценка 4,25 балла против 3,85) и структурно-механическим показателям: твердость выше на 17,13 %, упругость – на 5,20 %, липкость – на 9,84 %, пережевываемость – на 6,74 %. Исследование функционально-технологических свойств подтвердило преимущество образца 2.1: ВСС на 6 %, ВУС на 5 %, ЖУС на 5 % выше по сравнению с образцом 2.2.

Установлено, что разработанные растительные аналоги характеризуются высоким содержанием белка (22,7 % и 18,3 %), оптимальным соотношением белка к жиру и низкими потерями при тепловой обработке (8–10 %). Аминокислотный анализ показал, что образцы превосходят эталон ФАО/ВОЗ по большинству незаменимых аминокислот; лимитирующей аминокислотой является метионин + цистин (скор 86,9–89,1 %). Биологическая ценность белка составила 30,4 % и 31,2 % соответственно, что подтверждает эффективность использования растительных гидролизатов для создания сбалансированных аминокислотных профилей.

Расчет экономической эффективности показал, что себестоимость 100 г готового продукта составляет 83,3 р. для образца с ГБГ и 46,7 р. для образца с ГБП,

что свидетельствует о конкурентоспособности разработанных аналогов на рынке растительных продуктов.

Разработанные растительные аналоги мясных рубленых изделий удовлетворяют суточную потребность в белке на 22–26 %, в пищевых волокнах – на 22–23 %, что позволяет рекомендовать их для включения в рацион различных групп населения, включая спортсменов, адептов здорового образа жизни и лиц, придерживающихся флекситарианского, вегетарианского и веганского типов питания.

## 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 аминокислот 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 гидролизаты 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 гидролизатов в мясорастительных системах. Доказано, что внесение 7 % гидролизата горохового белка в рецептуру мясных рубленых полуфабрикатов позволяет по-

высить влагоудерживающую способность до 75,4 %, жирудерживающую способность 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 гидролизатом горохового белка 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 гидролизатов растительных белков (горохового – до 19,8 %, подсолнечного – до 22,2 %). Решение оптимизационной задачи линейного программирования позволило обеспечить 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 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  $(18 \pm 2)$  °С и относительной влажности не выше 75 %.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в создании широкого ассортимента пищевых продуктов различной функциональной направленности с использованием гидролизатов растительного белка.

## Список литературы

1. Александров, Н. К. Оптимизация технологических параметров получения белковой добавки из коллагенсодержащего рыбного сырья / Н. К. Александров, Д. Л. Альшевский, В. А. Наумов, М. Н. Альшевская // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2025. – № 1. – С. 112–118. – DOI 10.24143/2073-5529-2025-1-112-118. – EDN OXVUKT.
2. Александров, Н. К. Разработка и оценка качества структурированной добавки на основе гидролизата коллагенсодержащего сырья / Н. К. Александров, Д. Л. Альшевский // Ползуновский вестник. – 2025. – № 2. – С. 15–19. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.02.002. – EDN GRBBAG.
3. Анисимова, Е. Ю. Новые подходы в создании функциональных продуктов питания на основе использования нетрадиционных региональных ресурсов и технологий / Е. Ю. Анисимова, М. И. Сложенкина, А. Г. Золотарева // Аграрно-пищевые инновации. – 2022. – № 3 (19). – С. 39–48. – DOI 10.31208/2618-7353-2022-19-39-48. – EDN RFWLGJ.
4. Антипова, Л. В. Гигиенические аспекты и перспективы отечественного производства растительных белков / Л. В. Антипова, И. Н. Толпыгина, М. Е. Успенская, В. И. Попов // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94, № 9. – С. 51–54. – EDN VLFENP.
5. Антипова, Л. В. Методы исследования мяса и мясных продуктов / Л. В. Антипова, И. А. Глотова, И. А. Рогов // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 1. – URL: <https://science-education.ru/article/view?id=845> (дата обращения: 04.05.2025). – EDN KWHHAN.
6. Антипова, Л. В. Текстураты растительных белков для производства продуктов питания / Л. В. Антипова, И. Н. Толпыгина, Л. Е. Мартемьянова // Пищевая промышленность. – 2014. – № 2. – С. 20–23. – EDN RVOKWF.
7. Ассоциация производителей альтернативных пищевых продуктов : [сайт]. – URL: <https://aafpp.ru> (дата обращения: 04.05.2025).

8. Беркетова, Л. В. Протеинсодержащие продукты как альтернатива источникам белка в рационе / Л. В. Беркетова, С. В. Еремина // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4, № 8. – С. 154–161. – DOI 10.5281/zenodo.1345205. – EDN UWAKFT.

9. 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. – DOI 10.36718/1819-4036-2025-5-244-260. – EDN GROMJL.

10. 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 декабря 2024 г.). – Красноярск : Буква С, 2025. – С. 242–246. – EDN ISSWIG.

11. 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. – DOI 10.14529/food250405. – EDN DRNOBP.

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

13. Бикбулатов, П. С. 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. – DOI 10.36718/1819-4036-2024-8-130-139. – EDN EEMSQI.

14. Бикбулатов, П. С. Разработка технологии получения изолята горохового белка пищевого назначения / П. С. Бикбулатов // Информационные системы и тех-

нологии АПК и ПГС : сб. науч. ст. Междунар. науч.-техн. конф. (Курск, 6 октября 2023 г.) : в 2 т. – Курск : Курский ГАУ, 2023. – Т. 2. – С. 369–372. – EDN JTHMLE.

15. Бычкова, Е. А. Белковые концентраты сои: технологии производства и перспективы применения / Е. А. Бычкова, А. В. Борисова // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 88–94. – DOI 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.012. – EDN FVPTVI.

16. Бычкова, Е. С. Особенности производства и усвоения белков растительного и животного происхождения: обзор предметного поля / Е. С. Бычкова, Е. М. Подгорбунских, П. В. Кудачева, Н. Б. Еремеева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2024. – № 1. – С. 31–52. – DOI 10.36107/spfp.2021.1.473. – EDN OCPZAL.

17. Бычкова, Е. С. Технологические особенности и перспективы использование 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. – EDN YVSGWT.

18. Воскобулова, Н. И. Аминокислотный состав и биологическая ценность белка гороха в зависимости от приемов возделывания / Н. И. Воскобулова, А. С. Верещагина, Р. Ш. Ураскулов, М. Я. Курилкина // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т. 102, № 3. – С. 117–125. – DOI 10.33284/2658-3135-102-3-117. – EDN CWXQLW.

19. Горлов, И. Ф. Инновационная рецептура мясного продукта функциональной направленности / И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, Г. В. Федотова [и др.] // Индустрия питания. – 2020. – Т. 5, № 2. – С. 44–52. – DOI 10.29141/2500-1922-2020-5-2-6. – EDN PSYDYH.

20. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 6 с.

21. ГОСТ 11246-96. Шрот подсолнечный. Технические условия. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 8 с.

22. ГОСТ 15113.3-77. Концентраты пищевые. Методы определения органолептических показателей, готовности концентратов к употреблению и оценки дисперсности суспензии. – Москва : Стандартинформ, 1997. – 17 с.

23. ГОСТ 15113.4-2021. Концентраты пищевые. Гравиметрические методы определения массовой доли влаги. – Москва : Рос. ин-т стандартизации, 2021. – 11 с.

24. ГОСТ 28674-2019. Горох. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 7 с.

25. ГОСТ 29185-14. Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета сульфитредуцирующих бактерий, растущих в анаэробных условиях. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 11 с.

26. ГОСТ 31388-2009. Продукты соевые пищевые. Технические условия. – Минск : Евраз. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2010. – 18 с.

27. ГОСТ 31746-2012. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 22 с.

28. ГОСТ 31747-2012. Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). – Москва : Стандартинформ, 2013. – 15 с.

29. ГОСТ 31905-2012. Добавки пищевые. Кальция лактат E327. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 5 с.

30. ГОСТ 34440-2018. Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилалитической активности. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 15 с.

31. ГОСТ 9959-2015. Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической. – Москва : Стандартинформ, 2016. – 19 с.

32. ГОСТ Р 53046-2008. Препараты ферментные. Методы определения ферментативной активности целлюлазы. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 9 с.

33. ГОСТ Р ИСО 20252-2014. Исследование рынка, общественного мнения и социальных проблем. Словарь и сервисные требования. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 37 с.

34. Дегтярев, И. А. Сравнение функционально-технологических свойств и аминокислотного состава изолятов белка растительного происхождения / И. А. Дегтярев, М. Гаравири, И. А. Фоменко [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2025. – № 2 (215). – С. 202–215. – DOI 10.36718/1819-4036-2025-2-202-215. – EDN YWAPCO.

35. Елисеев, А. Пионер генной инженерии шагает по планете. Соя в России и в мире: история культуры и особенности ее возделывания / А. Елисеев // Аграрное обозрение. – 2010. – № 3 (19). – С. 54–59.

36. Зенкова, Д. В. Анализ технологий белковых продуктов из подсолнечника: концентратов гидролизатов, изолятов, текстуратов / Д. В. Зенкова, А. В. Борисова // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. – 2021. – № 3 (99). – С. 107–116. – DOI 10.24866/2311-2271/2021-3/107-116. – EDN TSBVQX.

37. Использование биотехнологических приемов, пищевых добавок в технологии мясных продуктов (часть 1) : метод. указания к выполнению лаб. работ / сост. Н. Н. Забашта, А. А. Нестеренко. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 20 с. – URL: <https://kubsau.ru/upload/iblock/4a1/4a119db43dbd6cd82471fe699d4031f4.pdf> (дата обращения: 04.05.2025).

38. Использование биотехнологических приемов, пищевых добавок в технологии мясных продуктов (часть 2) : метод. указания к выполнению лаб. работ / сост. Н. Н. Забашта, А. А. Нестеренко. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 32 с. – URL: <https://kubsau.ru/upload/iblock/21a/21a1c86271bc71e15241be1d934e25cd.pdf> (дата обращения: 04.05.2025).

39. Как развивается рынок заменителей мясных и молочных продуктов // Коммерсант : [сайт]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8269661> (дата обращения: 04.05.2025).

40. Кобилова, Г. И. Анализ потенциала использования альтернативных источников белка в пищевой промышленности, таких как растительные и микробные белки, для уменьшения зависимости от животного сырья / Г. И. Кобилова, А. У. Шингисов // Universum: технические науки. – 2024. – № 4-6 (121). – С. 26–27. – EDN YNBACC.

41. Компанцев, Д. В. Белковые изоляты из растительного сырья: обзор современного состояния и анализ перспектив развития технологии получения белковых изолятов из растительного сырья / Д. В. Компанцев, А. В. Попов, И. М. Привалов, Э. Ф. Степанова // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 1. – URL: <https://science-education.ru/article/view?id=24132> (дата обращения: 04.05.2025). – EDN TIKIZB.

42. Костылева, Е. В. Использование протеолитических ферментов для получения белковых гидролизатов пищевого назначения из вторичного сырья / Е. В. Костылева, А. С. Серeda, И. А. Великорецкая [и др.] // Вопросы питания. – 2023. – Т. 92, № 1 (545). – С. 116–132. – DOI 10.33029/0042-8833-2023-92-1. – EDN PUGROG.

43. Красноштанова, А. А. Получение и оценка функциональных свойств белковых изолятов и гидролизатов из растительного сырья / А. А. Красноштанова, Л. В. Шульц // Химия растительного сырья. – 2022. – № 4. – С. 299–309. – DOI 10.14258/jcprgm.20220410952. – EDN UIZIII.

44. Крылова, И. В. Ферментативный гидролиз полисахаридов в процессах выделения подсолнечного белка / И. В. Крылова, Т. Ф. Демьяненко, Л. О. Шагинова // Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО : материалы 52-й (LII) науч. и учеб.-метод. конф. Университета ИТМО (Санкт-Петербург, 31 января – 3 февраля 2023 г.). – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2023. – С. 123–125. – EDN PQLOBK.

45. Крылова, И. В. Экстракция подсолнечного белка с применением ультразвукового излучения / И. В. Крылова, А. В. Федоров, М. Л. Доморощенкова [и др.] // Новые технологии. – 2024. – Т. 20, № 2. – С. 81–89. – DOI 10.47370/2072-0920-2024-20-2-81-89. – EDN XBCHRC.

46. Крюк, Р. В. Развитие современных тенденций производства мясных продуктов из растительного сырья / Р. В. Крюк, П. А. Лопуха, М. Г. Курбанова [и др.] // Холодильная техника и биотехнологии : сб. тез. IV Нац. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Кемерово, 1–3 декабря 2022 г.). – Кемерово : КемГУ, 2023. – С. 127–129. – EDN RWZDSH.

47. Кудряшов, В. Л. Импортзамещающая технология производства пищевых концентрата и изолята белка, крахмала и клетчатки из гороха с применением баромембранных процессов / В. Л. Кудряшов // Пищевая индустрия. – 2019. – № 1 (39). – С. 46–50. – DOI 10.24411/9999-008A-2019-10003. – EDN YXHEST.

48. Кузибек, С. К. Исследование технологии получения соевого изолята из местных соевых бобов / С. К. Кузибек, Д. Б. Турабекова, Д. Х. Нурмаматов [и др.] // Universum: технические науки. – 2025. – № 5-5 (134). – С. 11–15. – EDN QSZQNE.

49. Кулаков, В. Г. Применение извлеченных белков из растительного сырья в функциональном и специализированном питании / В. Г. Кулаков, С. В. Капустин // Овощи России. – 2017. – № 5 (38). – С. 84–87. – DOI 10.18619/2072-9146-2017-5-84-87. – EDN XNBMWT.

50. Курбанова, М. Г. Использование метода IN SILICO для прогнозирования свойств биоактивных пептидов / М. Г. Курбанова, Р. А. Ворошилин, В. В. Матюшев [и др.] // Вестник КРАСГАУ. – 2023. – № 2 (191). – С. 236–241.

51. Лебедева, С. Н. Изучение некоторых функциональных характеристик ферментативных гидролизатов пищевых белков / С. Н. Лебедева, Б. А. Болхонов, С. Д. Жамсаранова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2024. – Т. 54, № 2. – С. 412–422. – DOI 10.21603/2074-9414-2024-2-2515. – EDN VEJEGN.

52. Мандреа, А. Г. Технология и оборудование для получения соевого белкового изолята/концентрата/ А. Г. Мандреа // Пищевая промышленность. – 2004. – № 5. – С. 54–55.

53. Манжесов, В. И. Получение белковых продуктов из нетрадиционных источников и перспективы их использования / В. И. Манжесов, С. Ю. Чурикова, Е. Е. Курчаева, А. А. Мягкова // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-2. – С. 316–317. – EDN QYYWLR.

54. Мезенова, О. Я. Оценка пищевых и функционально-технологических свойств гидролизатов коллагена из чешуи сардинеллы / О. Я. Мезенова, З. Н. Хатко, Ю. О. Некрасова [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2025. – № 11 (224). – С. 206–222. – DOI 10.36718/1819-4036-2025-11-206-222. – EDN YPKCJU.

55. Меренкова, С. П. Практические аспекты использования растительных белковых добавок в технологии мясных продуктов / С. П. Меренкова, Т. В. Савостина // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2014. – Т. 2, № 1. – С. 23–29. – EDN RZCMJT.

56. Методика научных исследований в пищевой отрасли : метод. указания по выполнению практ. работ, самост. и курс. работы / Новосибирский ГАУ ; сост. О. В. Рявкин, С. Л. Гаптар, О. Н. Сороколетов, А. Н. Головки. – Новосибирск, 2022. – URL: <https://edubiotech.ru/file/1807141?get=c3edb87492e9e54e4368a3ba107275b4> (дата обращения: 08.05.2025).

57. Микляшевски, П. Использование соевых белков в переработке мяса / П. Микляшевски, В. В. Прянишников, Е. В. Бабичева, А. В. Ильтяков // Все о мясе. – 2006. – № 3. – С. 10–13. – EDN JWARND.

58. Общая технология отрасли : метод. указания по выполнению практ. работ для студентов очной формы обучения / ЮЗГУ ; сост. Э. А. Пьяникова. – Курск, 2017. – URL: [https://swsu.ru/sveden/files/Metod\\_V1.V.17\\_19.03.03\\_25.02.2020\\_pr.pdf](https://swsu.ru/sveden/files/Metod_V1.V.17_19.03.03_25.02.2020_pr.pdf) (дата обращения: 08.05.2025).

59. Патент № 2745988 Российская Федерация, МПК С12Р 19/00, С12Р 19/02, С12Р 19/12. Способ и устройство для ферментативного гидролиза : № 2018135602 : заявл. 22.03.2017 : опубл. 05.04.2021 / С. Турунен, Ю. Тампер.

60. Патент № 2790443 Российская Федерация, МПК С12N 9/54, С11D 3/386. Варианты протеаз и пути их применения : № 2019100992 : заявл. 18.06.2017 : опубл. 21.02.2023 / Р. Р. Ботт, Д. А. Эстелл, Ф. Гудегебур [и др.].

61. Патент № 2795817 Российская Федерация, МПК А23J 3/14, А23J 3/22, А23L 33/00. Способ производства растительного пищевого продукта, заменяющего мясо, и растительный пищевой продукт, полученный этим способом : № 2022120968 : заявл. 01.08.2022 : опубл. 11.05.2023 / ООО «Еда будущего».

62. Патент № 2795863 Российская Федерация, МПК А23J 3/14, А23J 3/22, А23L 33/00. Растительный пищевой продукт, заменяющий мясо : № 2022120969 : заявл. 01.08.2022 : опубл. 12.05.2023 / ООО «Еда будущего».

63. Патент № 2797288 Российская Федерация, МПК А23J 1/14. Способ извлечения белка : № 2022113477 : заявл. 19.05.2022 : опубл. 01.06.2023 / А. С. Тарасов.

64. Патент № 2819427 Российская Федерация, МПК А23J 3/14. Продукт – аналог мяса, содержащий гидратированный текстурированный растительный белок : № 2022107048 : заявл. 13.08.2020 : опубл. 21.05.2024 / Р. Ридл, С. Гэддипати.

65. Поморова, Ю. Ю. Характеристика, методы выделения белковой фракции семян основных масличных культур (обзор) / Ю. Ю. Поморова, В. В. Пятовский, Д. В. Бескоровайный, Ю. С. Болховитина // Масличные культуры. – 2019. – № 4 (180). – С. 161–169. – DOI 10.25230/2412-608X-2019-4-180-161-169. – EDN OYBNPU.

66. Попова, Н. Н. Разработка рыбных рубленых полуфабрикатов сбалансированного жирнокислотного состава / Н. Н. Попова, Л. И. Столбовских // Сервис в России и за рубежом. – 2013. – № 5 (43). – С. 30–37. – EDN QACNZD.

67. 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. – DOI 10.29141/2500-1922-2025-10-2-4. – EDN MWVPUU.

68. Санитарно-бактериологические исследования методом разделенного импеданса : методические указания МУК 4.2.2578-10. – Москва : Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 76 с.

69. Сафаров, А. А. Применение белковой добавки на основе сои местного происхождения в технологии производства колбасных изделий / А. А. Сафаров, А. Фатхуллаев, Д. Рахимова // Аграрная наука и инновационное развитие животноводства – основа экологической безопасности продовольствия : сб. ст. Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Саратов, 25–26 мая 2021 г.). – Саратов : Центр социальных агроинноваций СГАУ, 2021. – С. 222–227. – EDN RSLLEGE.

70. Сборник технологических нормативов. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания : в 2 т. / под ред. Ф. Л. Марчука, Н. А. Лупея. – Москва : Хлебпродинформ, 1996. – Т. 1. – ISBN 5-88676-044-X.

71. Скурихин, И. М. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания : справочник / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян. – Москва : ДеЛи Принт, 2007. – 275 с. – ISBN 978-5-94343-122-7.

72. Таранова, И. В. Органические продукты питания в моделях потребительского поведения населения с разным уровнем образования сферы услуг региона / И. В. Таранова, О. С. Копылова, И. В. Ющенко [и др.] // Московский экономический журнал. – 2020. – № 9. – С. 314–323. – DOI 10.24411/2413-046X-2020-10614. – EDN ETCPWM.

73. Технология производства протеина // ИП Хананов Николай Владимирович. Производство и продажа пищевого, фармацевтического, химического и другого оборудования : [сайт]. – URL: <https://technology.agroserver.ru/articles/7601/> (дата обращения: 08.05.2025).

74. Хвыля, С. И. Исследования микроструктурных характеристик содержащих клетчатку пищевых добавок мясной промышленности / С. И. Хвыля, В. А. Пчелкина, А. А. Габараев // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. – 2012. – Т. 2, № 2. – С. 149–156. – EDN SJFOXZ.

75. Хисматуллина, З. Н. Методы фракционирования смеси белков на индивидуальные белки / З. Н. Хисматуллина // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 21. – С. 212–217. – EDN PQPMFP.

76. 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. – EDN VBVMUB.

77. 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. – DOI 10.29141/2500-1922-2025-10-3-6. – EDN BIOAPP.

78. Шипулин, В. И. Разработка и использование адаптированного к мясным системам белково-углеводного концентрата на основе молочной сыворотки

/ В. И. Шипулин, А. Д. Стрельченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 74. – С. 74–83. – EDN ONTFOT.

79. Широкова, Н. В. Исследование качественных показателей, функционально-технологических свойств изолятов растительного белка / Н. В. Широкова, А. В. Шкуров, А. В. Трегубов, А. А. Куц // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2024. – Т. 86, № 1 (99). – С. 201–206. – DOI 10.20914/2310-1202-2024-1-201-206. – EDN CTURRO.

80. Широкова, Н. В. Исследование качественных показателей, функционально-технологических свойств изолятов растительного белка / Н. В. Широкова, А. В. Шкуров, А. В. Трегубов, А. А. Куц // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2024. – Т. 86, № 1 (99). – С. 201–206. – DOI 10.20914/2310-1202-2024-1-201-206. – EDN CTURRO.

81. Юнусов, Э. Ш. Рубленые полуфабрикаты с использованием соевых белковых препаратов / Э. Ш. Юнусов, В. Я. Пономарев, Г. О. Ежкова // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 18. – С. 159–163. – EDN OJKBPZ.

82. 5YES! : [сайт]. – URL: <https://5yes.ru> (дата обращения: 08.05.2025).

83. Amin, A. Perspective on the effect of protein extraction method on the antinutritional factor (ANF) content in seeds / A. Amin, I. L. Petersen, C. Malmberg, V. Orlien // ACS Food science and technology. – 2022. – Vol. 2, № 4. – P. 604–612. – DOI 10.1021/acsfoodscitech.1c00464.

84. Auer, J. Assessing the digestibility and estimated bioavailability/bioaccessibility of plant-based proteins and minerals from soy, pea, and faba bean ingredients / J. Auer, M. Alminger, M. Marinea [et al.] // LWT. – 2024. – Vol. 197. – Art. 115893. – DOI 10.1016/j.lwt.2024.115893.

85. Bennetau-Pelissero, C. Plant proteins from legumes / C. Bennetau-Pelissero // Bioactive molecules in food / eds. J. M. Mérillon, K. Ramawat. – Cham : Springer, 2018. – P. 1–43. – DOI 10.1007/978-3-319-54528-8\_3-1.

86. Borisova, V. Nutritional practices and experiences of people on vegan diet with healthcare system: a qualitative study / V. Borisova, T. Stöckelová, A. Ouřadová [et al.]

// Central European journal of public health. – 2023. – Vol. 31, № 3. – P. 191–197. – DOI 10.21101/cejph.a7693.

87. Braden, M. L. Protein source influences acute appetite and satiety but not subsequent food intake in healthy adults / M. L. Braden, J. A. Gwin, H. J. Leidy // Journal of nutrition. – 2023. – Vol. 153, № 6. – P. 1825–1833. – DOI 10.1016/j.tjnut.2023.04.001.

88. Bremer, E. Variation in over-yielding of pulse-oilseed intercrops / E. Bremer, B. H. Ellert, D. Pauly, K. J. Greer // Field crops research. – 2024. – Vol. 305. – P. 109–190. – DOI 10.1016/j.fcr.2023.109190.

89. Chardigny, J.-M. Plant protein for food: opportunities and bottlenecks / J.-M. Chardigny, S. Walrand // OCL. – 2016. – Vol. 23, № 4. – Art. D404. – DOI 10.1051/ocl/2016019.

90. Chatterjee, C. Soybean bioactive peptides and their functional properties / C. Chatterjee, S. Gleddie, C. W. Xiao // Nutrients. – 2018. – Vol. 10, № 9. – Art. 1211. – DOI 10.3390/nu10091211.

91. Curtain, F. Plant-based meat substitutes in the flexitarian age: an audit of products on supermarket shelves / F. Curtain, S. Grafenauer // Nutrients. – 2019. – Vol. 11, № 11. – Art. 2603. – DOI 10.3390/nu11112603.

92. El Sadig, R. Are novel plant-based meat alternatives the healthier choice? / R. El Sadig, J. Wu // Food research international. – 2024. – Vol. 183. – Art. 114184. – DOI 10.1016/j.foodres.2024.114184

93. Fang, B. Unconventional sources of vegetable proteins: technological properties / B. Fang, Z. Peng, B. Chen, J. Rao // Current opinion in food science. – 2024. – Vol. 57. – Art. 101150. – DOI 10.1016/j.cofs.2024.101150.

94. Fu, Q. Research advances in plant protein-based products: protein sources, processing technology, and food applications / Q. Fu, J. Zhao, S. Rong [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. – 2023. – Vol. 71, № 42. – P. 15429–15444. – DOI 10.1021/acs.jafc.3c02224.

95. García Arteaga, V. Screening of twelve pea (*Pisum sativum* L.) cultivars and their isolates focusing on the protein characterization, functionality, and sensory profiles

/ V. García Arteaga, S. Kraus, M. Schott [et al.] // *Foods*. – 2021. – Vol. 10, № 4. – Art. 758. – DOI 10.3390/foods10040758.

96. Goyal, N. Physical approaches for modification of vegan protein sources: a review / N. Goyal, R. Thakur, B. K. Yadav // *Food and bioprocess technology*. – 2024. – Vol. 17, № 12. – P. 4405–4428. – DOI 10.1007/s11947-024-03368-2.

97. Hadidi, M. Plant protein-based food packaging films, recent advances in fabrication, characterization, and applications / M. Hadidi, S. Jafarzadeh, M. Forough [et al.] // *Trends in food science and technology*. – 2022. – Vol. 120. – P. 154–173. – DOI 10.1016/j.tifs.2022.01.013.

98. Hernández-Álvarez, A. J. Amino acid profile and bioavailability of plant-based protein-rich products / A. J. Hernández-Álvarez, M. G. Nosworthy, M. Mondor // *Plant Protein Foods* / eds. A. Manickavasagan [et al.]. – Cham : Springer, 2022. – P. 343–379. – DOI 10.1007/978-3-030-91206-2\_12.

99. Herreman, L. Comprehensive overview of the quality of plant- and animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score / L. Herreman, P. Nommensen, B. Pennings, M. C. Laus // *Food science and nutrition*. – 2020. – Vol. 8, № 10. – P. 5379–5391. – DOI 10.1002/fsn3.1809.

100. Hewage, A. Novel extraction technologies for developing plant protein ingredients with improved functionality / A. Hewage, O. O. Olatunde, C. Nimalaratne [et al.] // *Trends in food science and technology*. – 2022. – Vol. 129. – P. 492–511. – DOI 10.1016/j.tifs.2022.10.016.

101. Imran, M. Production of plant-based meat: functionality, limitations and future prospects / M. Imran, Z. Liyan // *European food research and technology*. – 2023. – Vol. 249, № 9. – P. 2189–2213. – DOI 10.1007/s00217-023-04287-w.

102. Jahangiri, F. Sustainable biodegradable coatings for food packaging: challenges and opportunities / F. Jahangiri, A. K. Mohanty, M. Misra // *Green chemistry*. – 2024. – Vol. 26, № 9. – P. 4934–4974. – DOI 10.1039/d3gc02647g.

103. Karabulut, G. Plant-based protein modification strategies towards challenges / G. Karabulut, G. Goksen, A. Mousavi Khaneghah // *Journal of agriculture and food research*. – 2024. – Vol. 15. – Art. 101017. – DOI 10.1016/j.jafr.2024.101017.

104. Kaur, R. Optimizing conditions for protein isolation from de-oiled sunflower meal using response surface methodology (RSM) / R. Kaur, G. Ghoshal, S. Chauhan // *Journal of food measurement and characterization*. – 2024. – Vol. 18, № 5. – P. 3708–3719. – DOI 10.1007/s11694-024-02443-8.

105. Khanashyam, A. C. Emerging alternative food protein sources: production process, quality parameters, and safety point of view / A. C. Khanashyam, A. S. Mundayan, K. Sajith Babu [et al.] // *Critical reviews in biotechnology*. – 2024. – Vol. 45, № 1. – P. 1–22. – DOI 10.1080/07388551.2024.2341902.

106. Köllmann, N. Near-infrared spectroscopy-based quantification of sunflower oil and pea protein isolate in dense mixtures for novel plant-based products / N. Köllmann, F. K. G. Schreuders, P. Mishra [et al.] // *Journal of food composition and analysis*. – 2023. – Vol. 121. – Art. 105414. – DOI 10.1016/j.jfca.2023.105414.

107. Krollik, K. The effect of buffer species on biorelevant dissolution and precipitation assays – comparison of phosphate and bicarbonate buffer / K. Krollik, A. Lehmann, C. Wagner [et al.] // *European journal of pharmaceuticals and biopharmaceutics*. – 2022. – Vol. 171. – P. 90–101. – DOI 10.1016/j.ejpb.2021.09.009.

108. Kumar, M. Advances in the plant protein extraction: mechanism and recommendations / M. Kumar, M. Tomar, J. Potkule [et al.] // *Food hydrocolloids*. – 2021. – Vol. 115. – Art. 106595. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2021.106595.

109. Kumar, M. Functional characterization of plant-based protein to determine its quality for food applications / M. Kumar, M. Tomar, J. Potkule [et al.] // *Food hydrocolloids*. – 2022. – Vol. 123. – Art. 106986. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2021.106986.

110. Kumar, M. Plant-based proteins and their multifaceted industrial applications / M. Kumar, M. Tomar, S. Punia [et al.] // *LWT*. – 2022. – Vol. 154. – Art. 112620. – DOI 10.1016/j.lwt.2021.112620.

111. Lam, A. C. Y. Pea protein isolates: structure, extraction, and functionality / A. C. Y. Lam, A. Can Karaca, R. T. Tyler, M. T. Nickerson // *Food reviews international*. – 2016. – Vol. 34, № 2. – P. 126–147. – DOI 10.1080/87559129.2016.1242135.

112. Lao, Y. Modulating digestibility and mitigating beany flavor of pea protein / Y. Lao, Q. Ye, Y. Wang, C. Selomulya // *Food reviews international*. – 2024. – Vol. 40, № 9. – P. 3129–3158. – DOI 10.1080/87559129.2024.2346329.

113. Le Priol, L. Comparative study of plant protein extracts as wall materials for the improvement of the oxidative stability of sunflower oil by microencapsulation / L. Le Priol, A. Dagmey, S. Morandat [et al.] // *Food hydrocolloids*. – 2019. – Vol. 95. – P. 105–115. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2019.04.026.

114. Locatelli, N. T. Nutrition classification schemes for plant-based meat analogues: drivers to assess nutritional quality and identity profile / N. T. Locatelli, G. F. N. Chen, M. F. Batista [et al.] // *Current research in food science*. – 2024. – Vol. 9. – Art. 100796. – DOI 10.1016/j.crfs.2024.100796.

115. Ložnjak Švarc, P. Nutrient content in plant-based protein products intended for food composition databases / P. Ložnjak Švarc, M. B. Jensen, M. Langwagen [et al.] // *Journal of food composition and analysis*. – 2022. – Vol. 106. – Art. 104332. – DOI 10.1016/j.jfca.2021.104332.

116. Malila, Y. Current challenges of alternative proteins as future foods / Y. Malila, I. O. Owolabi, T. Chotanaphuti [et al.] // *Npj Science of Food*. – 2024. – Vol. 8, № 1. – DOI 10.1038/s41538-024-00291-w

117. Masijn, Q. Structure and physical stability of plant-based food gel systems: impact of protein (mung bean, pea, potato, soybean) and fat (coconut, sunflower) / Q. Masijn, S. Libberecht, A. Meyfroot [et al.] // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9, № 9. – P. 188–194. – DOI 10.1016/j.heliyon.2023.e18894.

118. Mazumder, M. A. R. Role of plant protein on the quality and structure of meat analogs: a new perspective for vegetarian foods / M. A. R. Mazumder, W. Panpipat, M. Chaijan [et al.] // *Future foods*. – 2023. – Vol. 8. – Art. 100280. – DOI 10.1016/j.fufo.2023.100280.

119. Mazur, M. Use of vegetable-derived proteins for new food products / M. Mazur, V. Bulgaru, V. Celac [et al.] // *Journal of engineering science*. – 2024. – Vol. 30, № 4. – P. 111–123. – DOI 10.52326/jes.utm.2023.30(4).09.

120. McCauley, D. Market drivers and barriers for plant-based protein foods / D. McCauley // Plant protein foods / eds. A. Manickavasagan [et al.]. – Cham : Springer, 2022. – P. 485–501. – DOI 10.1007/978-3-030-91206-2\_17.

121. Mertens, E. Potential impact of meat replacers on nutrient quality and greenhouse gas emissions of diets in four European countries / E. Mertens, S. Biesbroek, M. Dofková [et al.] // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, № 17. – Art. 6838. – DOI 10.3390/su12176838.

122. Mondor, M. Processing technologies to produce plant protein concentrates and isolates / M. Mondor, A. J. Hernández-Álvarez // Plant protein foods / eds. A. Manickavasagan [et al.]. – Cham : Springer, 2022. – P. 61–108. – DOI 10.1007/978-3-030-91206-2\_3

123. Murru, M. Sunflower protein enrichment. Methods and potential applications / M. Murru, C. L. Calvo // OCL. – 2020. – Vol. 27. – Art. 17. – DOI 10.1051/ocl/2020007.

124. Nadeeshani, H. Recent trends in the utilization of pulse protein in food and industrial applications / H. Nadeeshani, N. Senevirathne, G. Somaratne, N. Bandara // ACS Food science and technology. – 2022. – Vol. 2, № 5. – P. 722–737. – DOI 10.1021/acsfoodscitech.1c00448.

125. Niu, D. Novel drying technologies for future animal- and plant-derived protein foods: research progress, challenges, and potential applications / D. Niu, M. Zhang, A. S. Mujumdar, D. Yu // Food and bioprocess technology. – 2024. – Vol. 17, № 12. – P. 4429–4449. – DOI 10.1007/s11947-024-03375-3.

126. Ordóñez, C. Obtaining a protein concentrate from integral defatted sunflower flour / C. Ordóñez, M. G. Asenjo, C. Benitez, J. L. González // Bioresource technology. – 2001. – Vol. 78, № 2. – P. 187–190. – DOI 10.1016/s0960-8524(00)00184-x.

127. Pickardt, C. Pilot plant preparation of light-coloured protein isolates from de-oiled sunflower (*Helianthus annuus* L.) press cake by mild-acidic protein extraction and polyphenol adsorption / C. Pickardt, P. Eisner, D. R. Kammerer, R. Carle // Food hydrocolloids. – 2015. – Vol. 44. – P. 208–219. – DOI 10.1016/j.foodhyd.2014.09.020.

128. Pinckaers, P. J. M. The anabolic response to plant-based protein ingestion / P. J. M. Pinckaers, J. Trommelen, T. Snijders, L. J. C. van Loon // *Sports medicine*. – 2021. – Vol. 51, № S1. – P. 59–74. – DOI 10.1007/s40279-021-01540-8.

129. Poppy, M. Effective plant protein extraction to enhance plant protein functionality and impact of plant protein over animal protein on health / M. Poppy // *International journal of science and research archive*. – 2024. – Vol. 13, № 2. – P. 317–320. – DOI 10.30574/ijrsra.2024.13.2.1930.

130. Pöri, P. Technological and sensory properties of plant-based meat analogues containing fermented sunflower protein concentrate / P. Pöri, M. Lille, M. Edelmann [et al.] // *Future Foods*. – 2023. – Vol. 8. – Art. 100244. – DOI 10.1016/j.fufo.2023.100244.

131. Rivera del Rio, A. Effect of fractionation and processing conditions on the digestibility of plant proteins as food ingredients / A. Rivera del Rio, R. M. Boom, A. E. M. Janssen // *Foods*. – 2022. – Vol. 11, № 6. – Art. 870. – DOI 10.3390/foods11060870.

132. Sá, A. G. A. Influence of emerging technologies on the utilization of plant proteins / A. G. A. Sá, J. B. Laurindo, B. A. M. Carciofi, Y. M. F. Moreno // *Frontiers in nutrition*. – 2022. – Vol. 9. – Art. 809058. – DOI 10.3389/fnut.2022.809058. – EDN PQMASS.

133. Sajib, M. Combined effects of isolation temperature and pH on functionality and beany flavor of pea protein isolates for meat analogue applications / M. Sajib, B. Forghani, N. Kumar Vate, M. Abdollahi // *Food chemistry*. – 2023. – Vol. 412. – Art. 135585. – DOI 10.1016/j.foodchem.2023.135585.

134. Santos, M. dos. Understanding the performance of plant protein concentrates as partial meat substitutes in hybrid meat emulsions / M. dos Santos, D. A. V. F. da Rocha, O. D. Bernardinelli [et al.] // *Foods*. – 2022. – Vol. 11, № 21. – Art. 3311. – DOI 10.3390/foods11213311.

135. Sari, Y. W. Towards plant protein refinery: review on protein extraction using alkali and potential enzymatic assistance / Y. W. Sari, W. J. Mulder, J. P. M. Sanders, M. E. Bruins // *Biotechnology journal*. – 2015. – Vol. 10, № 8. – P. 1138–1157. – DOI 10.1002/biot.201400569.

136. Sim, S. Y. J. Plant proteins for future foods: a roadmap / S. Y. J. Sim, A. Srv, J. H. Chiang, C. J. Henry // *Foods*. – 2021. – Vol. 10, № 8. – Art. 1967. – DOI 10.3390/foods10081967.

137. St. Pierre, S. R. Mimicking mechanics: a comparison of meat and meat analogs / S. R. St. Pierre, E. Kuhl // *Foods*. – 2024. – Vol. 13, № 21. – Art. 3495. – DOI 10.3390/foods13213495.

138. Stone, A. K. Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars / A. K. Stone, A. Karalash, R. T. Tyler [et al.] // *Food research international*. – 2015. – Vol. 76. – P. 31–38. – DOI 10.1016/j.foodres.2014.11.017.

139. Tahir, A. B. Enhancing structural and functional properties of commercially available pea protein isolate for plant-based meat analogues using combined pH-shift, high-intensity ultrasound, and heat treatments / A. B. Tahir, A. A. Khalil, H. Gull [et al.] // *Ultrasonics sonochemistry*. – 2025. – Vol. 117. – Art. 107342. – DOI 10.1016/j.ulsonch.2025.107342.

140. Talwar, R. Current and future market opportunities for alternative proteins in low- and middle-income countries / R. Talwar, M. Freymond, K. Beesabathuni, S. Lingala // *Current developments in nutrition*. – 2024. – Vol. 8. – Art. 102035. – DOI 10.1016/j.cdnut.2023.102035.

141. Tan, M. Functional and food application of plant proteins – a review / M. Tan, M. A. Nawaz, R. Buckow // *Food reviews international*. – 2021. – Vol. 39, № 5. – P. 2428–2456. – DOI 10.1080/87559129.2021.1955918.

142. Thakur, S. Plant-based protein as an alternative to animal proteins: a review of sources, extraction methods and applications / S. Thakur, A. K. Pandey, K. Verma [et al.] // *International journal of food science & technology*. – 2023. – Vol. 59, № 1. – P. 488–497. – DOI 10.1111/ijfs.16663. – EDN VIWVZY.

143. Tonsor, G. T. Market potential of new plant-based protein alternatives: insights from four US consumer experiments / G. T. Tonsor, J. L. Lusk, T. C. Schroeder // *Applied economic perspectives and policy*. – 2022. – Vol. 45, № 1. – P. 164–181. – DOI 10.1002/aep.13253.

144. Velemir, A. Effects of non-meat proteins on the quality of fermented sausages / A. Velemir, S. Mandić, G. Vučić, D. Savanović // Foods and raw materials. – 2020. – Vol. 8, № 2. – P. 259–267. – DOI 10.21603/2308-4057-2020-2-259-267. – EDN KXULVI.

145. Wang, J. Recent advances in the health benefits of pea protein (*Pisum sativum*): bioactive peptides and the interaction with the gut microbiome / J. Wang, S. Kadyan, V. Ukhanov [et al.] // Current opinion in food science. – 2022. – Vol. 48. – Art. 100944. – DOI 10.1016/j.cofs.2022.100944.

146. Zhang, L. A comparative analysis of nutritional quality, amino acid profile, and nutritional supplementations in plant-based products and their animal-based counterparts in the UK / L. Zhang, E. Langlois, K. Williams [et al.] // Food chemistry. – 2024. – Vol. 448. – Art. 139059. – DOI 10.1016/j.foodchem.2024.139059.

147. Zhang, M. Composition, functional properties, health benefits and applications of oilseed proteins: a systematic review / M. Zhang, O. Wang, S. Cai [et al.] // Food research international. – 2023. – Vol. 171. – Art. 113061. – DOI 10.1016/j.foodres.2023.113061.



**Приложение Б  
(обязательное)**

**Протоколы лабораторных испытаний**



УРАЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
УрГЭУ-СИНХ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский государственный экономический университет»**

**Научно-исследовательская лаборатория**

**Единого лабораторного комплекса УрГЭУ (НИЛ УрГЭУ)**

юридический адрес: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45

фактический адрес: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45

ИНН 6661003675 КПП 667101001 ОГРН 1026605233753, дата присвоения 23.09.2002г.

УФК по Свердловской области (УрГЭУ л/с 20626Х67930) ИНН/КПП

6661003675/667101001 БИК 016577551 Уральское ГУ Банка России/УФК по

Свердловской области г. Екатеринбург, р/сч 03214643000000016200,

к/сч 40102810645370000054

**ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

**№ 259-13.05.2025**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ  
ЕДИНОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА УрГЭУ**

Заказчик	Чугунова О.В. (аспирант Бикбулатов П.С.)
Основание	Утвержденная тема НИР
Объект	Растительная белковая добавка (8 образцов)
Условия проведения испытаний	Лабораторные условия НИЛ
Вид материала	Пищевой продукт на растительной основе
Место отбора пробы	Лабораторные условия НИЛ, соответствующие нормативным требованиям
Дата отбора (получения образцов)	30.04.2025
Метод отбора проб	ГОСТ 26313-2014 Продукты переработки фруктов и овощей. Правила приемки и методы отбора проб
Дата проведения испытания	30.04.2025 – 13.05.2025
Объем образцов	25 г для каждого образца

<p>Наименование, тип (марка) прибора, средств измерений</p>	<p>Массовая доля сухого вещества: весы AND GR-200, шкаф сушильный ШС-40-02</p> <p>Массовая доля сырого протеина: весы AND GR-200, шкаф сушильный ШС-40-02, дистиллятор VELP UDK 129, дигестор VELP DK 6, скруббер VELP SMS, насос водяной VELP JP, титратор TitroLine 5000, мешалка магнитная IKA C-MAG HS 7</p> <p>Массовая доля сырого жира: весы AND GR-200, шкаф сушильный ШС-40-02, экстрактор VELP SER 148, баня водяная LOIP LB-160, испаритель роторный IKA RV 3 V</p> <p>Массовая доля аминного азота: весы AND GR-200, титратор TitroLine 5000, мешалка магнитная IKA C-MAG HS 7</p> <p>Перевариваемость: весы AND GR-200, терморектор НТ-170ХПК, мешалка магнитная IKA C-MAG HS 7, фотометр фотоэлектрический (фотоэлектроколориметр) КФК-3-01, лабораторный термостатируемый диффузионный прибор с внутренним и наружным сосудами, средства измерений: рН буферов.</p> <p>Сумма фенольных соединений в пересчете на хлорогеновую кислоту: измерения оптической плотности проводили в области спектра 200–400 нм с использованием спектрофотометра СФ-2000 (Россия). В качестве стандарта применяли хлорогеновую кислоту (Chlorogenic acid CRS, код: Y0000569, чистотой 97,1 %).</p>
<p>НД на методы исследований</p>	<p>ГОСТ Р 54607.7-2016 Услуги общественного питания. Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Часть 7. Определение белка методом Кьельдаля</p> <p>ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка.</p> <p>ГОСТ Р 53861-2010. Продукты диетического (лечебного и профилактического) питания. Смеси белковые комбинированные сухие. Общие технические условия</p> <p>ГОСТ 26183-84 Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Метод определения жира</p> <p>ГОСТ Р 55479-2013 Мясо и мясные продукты. Методы определения аминокислотного азота</p> <p>ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина</p>

	Протокол Покровского-Ертанова <sup>1</sup> , RU2045918C1-1995-10-20 - Способ определения переваримости белков пищевых продуктов <i>in vitro</i> <sup>2</sup> Сумма фенольных соединений в пересчете на хлорогеновую кислоту Расчет осуществляли по калибровочному графику построенному на основе удельного показателя поглощения стандартного раствора хлорогеновой кислоты в 70 % этаноле, в соответствии с методикой, изложенной в ФС.2.5.0019.15.
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### Заключение:

№ п/п	Показатель	Результат испытаний	Погрешность (неопределенность)
<b>Образец ГБГ 1</b>			
1.	Массовая доля сухого вещества, %	94,70	± 0,20
2.	Массовая доля сырого протеина, %	27,50	± 0,15
3.	Массовая доля сырого жира, %	1,45	± 0,10
4.	Массовая доля аминного азота, мг/100г	134,62	± 6,73
<b>Образец ГБГ 2</b>			
1.	Массовая доля сухого вещества, %	95,10	± 0,20
2.	Массовая доля сырого протеина, %	55,80	0± 0,15
3.	Массовая доля сырого жира, %	1,58	± 0,10
4.	Массовая доля аминного азота, мг/100г	329,41	± 16,47
<b>Образец ГБГ 3</b>			
1.	Массовая доля сухого вещества, %	94,80	± 0,20
2.	Массовая доля сырого протеина, %	70,50	± 0,15
3.	Массовая доля сырого жира, %	1,91	± 0,10
4.	Массовая доля аминного азота, мг/100г	698,66	± 7,00
5.	Перевариваемость, %	91,22	± 3,00
<b>Образец зерно гороха измельченное</b>			
1.	Массовая доля сухого вещества, %	88,07	± 0,50
2.	Массовая доля сырого протеина, %	7,25	± 0,15
3.	Массовая доля сырого жира, %	7,22	± 0,10
4.	Массовая доля аминного азота, мг/100г	190,43	± 9,52
5.	Перевариваемость, %	68,12	± 3,00
<b>Образец ГБП 1</b>			
1.	Массовая доля сухого вещества, %	94,90	± 0,20
2.	Массовая доля сырого протеина, %	41,15	± 0,15
3.	Массовая доля сырого жира, %	7,75	± 0,10

<sup>1</sup> Покровский, А.А. Атакуемость белков пищевых продуктов протеолитическими ферментами *in vitro* / А.А. Покровский, И.Д. Ертанов // Вопросы питания. – 1965. – № 3. – С. 38-44.

<sup>2</sup> Патент № 2045918 С1 Российская Федерация, МПК А23L 1/31. Способ определения переваримости белков пищевых продуктов *in vitro* : № 93020038/13 : заявл. 16.04.1993 : опубл. 20.10.1995 / С. Б. Юдина, Н. Н. Липагов ; заявитель Московский институт прикладной биотехнологии. – EDN ZPPDML.

4.	Массовая доля аминного азота, мг/100г	447,11	± 22,36
5.	Содержание хлорогеновой кислоты, %	1,381	-
<b>Образец ГБП 2</b>			
1.	Массовая доля сухого вещества, %	95,20	± 0,30
2.	Массовая доля сырого протеина, %	50,85	± 0,15
3.	Массовая доля сырого жира, %	6,63	± 0,12
4.	Массовая доля аминного азота, мг/100г	466,67	± 23,33
5.	Содержание хлорогеновой кислоты, %	1,723	-
<b>Образец ГБП 3</b>			
1.	Массовая доля сухого вещества, %	95,10	± 0,10
2.	Массовая доля сырого протеина, %	68,90	± 0,15
3.	Массовая доля сырого жира, %	6,66	± 0,15
4.	Массовая доля аминного азота, мг/100г	586,83	± 29,34
5.	Содержание хлорогеновой кислоты, %	2,850	-
6.	Перевариваемость, %	88,92	± 3,00
<b>Образец шрот подсолнечника измельченный</b>			
1.	Массовая доля сухого вещества, %	90,65	± 0,20
2.	Массовая доля сырого протеина, %	6,66	± 0,15
3.	Массовая доля сырого жира, %	6,77	± 0,12
4.	Массовая доля аминного азота, мг/100г	192,31	± 9,62
5.	Содержание хлорогеновой кислоты, %	1,012	-
6.	Перевариваемость, %	63,25	± 3,00

Научно-исследовательская лаборатория не несёт ответственности за отбор образцов и информацию, предоставленную заказчиком.

Исследование провели:

Главный специалист СН Новопашин С.Н.

Инженер ИИ Кошлатый И.Н.

Зам. директора ЕЛК: ЕВ Шацких Е.В.

Директор ЕЛК НА Кольберг Н.А.

Активация Windows



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский государственный экономический университет»

Научно-исследовательская лаборатория

Единого лабораторного комплекса УрГЭУ (НИЛ УрГЭУ)

юридический адрес: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45

фактический адрес: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45

ИНН 6661003675 КПП 667101001 ОГРН 1026605233753, дата присвоения 23.09.2002г.

УФК по Свердловской области (УрГЭУ л/с 20626Х67930) ИНН/КПП

6661003675/667101001 БИК 016577551 Уральское ГУ Банка России/УФК по

Свердловской области г. Екатеринбург, р/сч 03214643000000016200,

к/сч 40102810645370000054

## ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

**№ 269-30.10.2025**

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ  
ЕДИНОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА УрГЭУ

Заказчик	Чугунова О.В. (аспирант Бикбулатов П.С.)
Основание	Утвержденная тема НИР
Объект	Растительная белковая добавка (6 образцов)
Условия проведения испытаний	Лабораторные условия НИЛ
Вид материала	Пищевой продукт на растительной основе
Место отбора пробы	Лабораторные условия НИЛ, соответствующие нормативным требованиям
Дата отбора (получения образцов)	26.09.2025
Метод отбора проб	ГОСТ 26313-2014 Продукты переработки фруктов и овощей. Правила приемки и методы отбора проб
Дата проведения испытания	26.09.2025 – 30.10.2025
Объем образцов	25 г для каждого образца

Наименование, тип (марка) прибора, средств измерений	Аминокислоты: весы AND GR-200, термореактор НТ-170ХПК, испаритель роторный ИКА RV 3 V, хроматограф жидкостный Agilent 1260 Infinity II, мешалка магнитная ИКА С-MAG HS 7
НД на методы исследований	СОП Определения аминокислотного состава методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с предколоночной дериватизацией агентами ОРА и FMOC в пищевых продуктах" ИЦ ФГБНУ "ВНИИМП им. В.М. Горбатова

**Заключение:**

Аминокислоты, мг/100 г						
Показатель	Результат испытаний					
	ГБГ 1	ГБГ 2	ГБГ 3	ГБП 1	ГБП 2	ГБП 3
Аспарагиновая	4090	7373	9581	4571	5032	8346
Глутаминовая	4965	11275	12643	10082	13476	16255
Серин	1499	3254	5597	2079	2532	3414
Гистидин	625	798	1776	1271	1060	1422
Глицин	1066	1839	5107	1943	3321	3047
Треонин	1220	2261	3648	1800	2112	2829
Аланин	1448	2680	3082	1888	2208	3578
Аргинин	1695	3316	4070	2513	3313	4285
Тирозин	844	1895	2429	1262	1022	1682
Цистин	164	138	221	139	445	403
Валин	1539	2913	3667	2553	2958	4124
Метионин	210	402	1517	1051	1180	1373
Фенилаланин	1459	3050	3120	1860	2189	3273
Изолейцин	1524	3066	3235	1997	2400	3385
Лейцин	2051	4618	4570	2615	3246	4581
Лизин	2220	5435	4704	2206	2425	4287
Пролин	882	1489	1594	1272	2158	2769
Сумма	27500	55803	70560	41102	51076	69053

Научно-исследовательская лаборатория не несёт ответственности за отбор образцов и информацию, предоставленную заказчиком.

Исследование провели:

Главный специалист С.Н. Новопашин С.Н.

Инженер И.Н. Кошлатый И.Н.

Зам. директора ЕЛК: Е.В. Шацких Е.В.

Директор ЕЛК Н.А. Кольберг Н.А.

## Приложение В (обязательное)

### Результаты микробиологических исследований



ООО «Кволити Мед»  
Лицензия № 66.01.35.001.Л.000007.04.21 от 14.04.2021г.  
+7 (343) 363-55-60 | +7 (922) 027-61-97  
info@quality-bio.ru | www.quality-bio.ru  
620142, г. Екатеринбург, ул. Машинная, д. 1

#### Протокол № 8 от 20.12.2023

Исследования образца: Проба №8  
Заказчик: Фабрика здорового питания  
Основание для проведения лабораторных исследований:  
Сопроводительная накладная  
Дата документа основания: 15.11.2023  
Место отбора пробы: Центральный стадион, 4 выход  
Наименование пробы: 8. Биточки растительные "Солнышко"  
Дата изготовления: 15.11.2023 (исследование на 30-ые сутки)  
Дата отбора проб: 15.11.2023  
Масса пробы: 200 г  
Дата поступления: 15.12.2023  
Даты проведения исследований: 15.12-20.12.2023  
Состояние образца: без особенностей  
Примечание: в герметичной упаковке

#### Результаты микробиологического исследования

№	Показатель	Результат испытаний	Величина допустимого уровня*	НТД
1	КМАФАнМ	5x10 <sup>3</sup>	2x10 <sup>4</sup> КОЕ/см <sup>3</sup>	ГОСТ 10444.15-94
2	БГКП	Не обнаружены	не допускается в 0,1 гр	ГОСТ 31747-2012
3	Salmonella spp.	Не обнаружены	не допускается в 25,0 гр	ГОСТ 31659-2012
4	Listeria monocytogenes	Не обнаружены	не допускается в 25,0 гр	ГОСТ 32031-2012
5	Staphylococcus aureus	Не обнаружены	не допускается в 1,0 гр	ГОСТ 31746-2012
6	E.coli	Не обнаружены	не допускается в 1,0 гр	ГОСТ 30726-2001

\* По ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции"

Метод: Микробиологический

Применяемое оборудование: анализатор масс-спектрометр Vitek MS (BioMerieux, Франция)

Результаты распространяются на доставленную пробу.

Исполнитель:

Заведующий лабораторией Амшева П.Г.





ООО «Квалити Мед»  
 Лицензия № 66.01.35.001.Л.000007.04.21 от 14.04.2021г.  
 +7 (343) 363-55-60 | +7 (922) 027-61-97  
 info@quality-bio.ru | www.quality-bio.ru  
 620142, г. Екатеринбург, ул. Машинная, д. 1

### Протокол № 5 от 20.12.2023

Исследования образца: Проба №5  
 Заказчик: Фабрика здорового питания  
 Основание для проведения лабораторных исследований:  
 Сопроводительная накладная  
 Дата документа основания: 15.11.2023  
 Место отбора пробы: Центральный стадион, 4 выход  
 Наименование пробы: 5. Биточки растительные "Гороховые"  
 Дата изготовления: 15.11.2023 (исследование на 30-ые сутки)  
 Дата отбора проб: 15.11.2023  
 Масса пробы: 200 г  
 Дата поступления: 15.12.2023  
 Даты проведения исследований: 15.12-20.12.2023  
 Состояние образца: без особенностей  
 Примечание: в герметичной упаковке

### Результаты микробиологического исследования

№	Показатель	Результат испытаний	Величина допустимого уровня*	НТД
1	КМАФАММ	8x10 <sup>4</sup> З	2x10 <sup>4</sup> КОЕ/см <sup>3</sup>	ГОСТ 10444.15-94
2	БГКП	Не обнаружены	не допускается в 0,1 гр	ГОСТ 31747-2012
3	Salmonella spp.	Не обнаружены	не допускается в 25,0 гр	ГОСТ 31659-2012
4	Listeria monocytogenes	Не обнаружены	не допускается в 25,0 гр	ГОСТ 32031-2012
5	Staphylococcus aureus	Не обнаружены	не допускается в 1,0 гр	ГОСТ 31746-2012
6	E.coli	Не обнаружены	не допускается в 1,0 гр	ГОСТ 30726-2001

\* По ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции"

Метод: Микробиологический

Применяемое оборудование: анализатор масс-спектрометр Vitek MS (BioMerieux, Франция)

Результаты распространяются на доставленную пробу.

Исполнитель:

Заведующий лабораторией Амиева П.Г.



## Приложение Г (обязательное)

### Результаты исследования структурно-механических свойств

01.03.2022

ТРА\_сравнение+жареные.htm

СТРУКТУРОМЕТР СТ-2

#### Методика-СТ-2-ТРА

01.03.2022 18:39:04

#### Анализ профиля текстуры\_ТРА

##### Режим работы прибора:

1. Перемещение индентора 36 мм со скоростью движения  $V_d$  вниз до контакта с пробой продукта с усилием  $F_k$

$V_d$ , мм/с	-0,5
$F_k$ , г	7
$t$ , с	100

2. Внедрение индентора 36 мм в пробу продукта на глубину  $H_v$  (50% от высоты пробы продукта) со скоростью движения  $V_d$

$V_d$ , мм/с	-0,5
$t$ , с	1000
$H_v$ , мм	-5
$F_{max}$ , г	4000

3. Извлечение индентора 36 мм из пробы продукта со скоростью движения  $V_d$

$V_d$ , мм/с	0,5
$t$ , с	100
$H_v$ , мм	10

4. Внедрение индентора 36 мм в пробу продукта на глубину  $H_v$  (50% от высоты пробы продукта) со скоростью движения  $V_d$

$V_d$ , мм/с	-0,5
$t$ , с	1000
$H_v$ , мм	-10
$F_{max}$ , г	4000

5. Извлечение индентора 36 мм из пробы продукта со скоростью движения  $V_d$

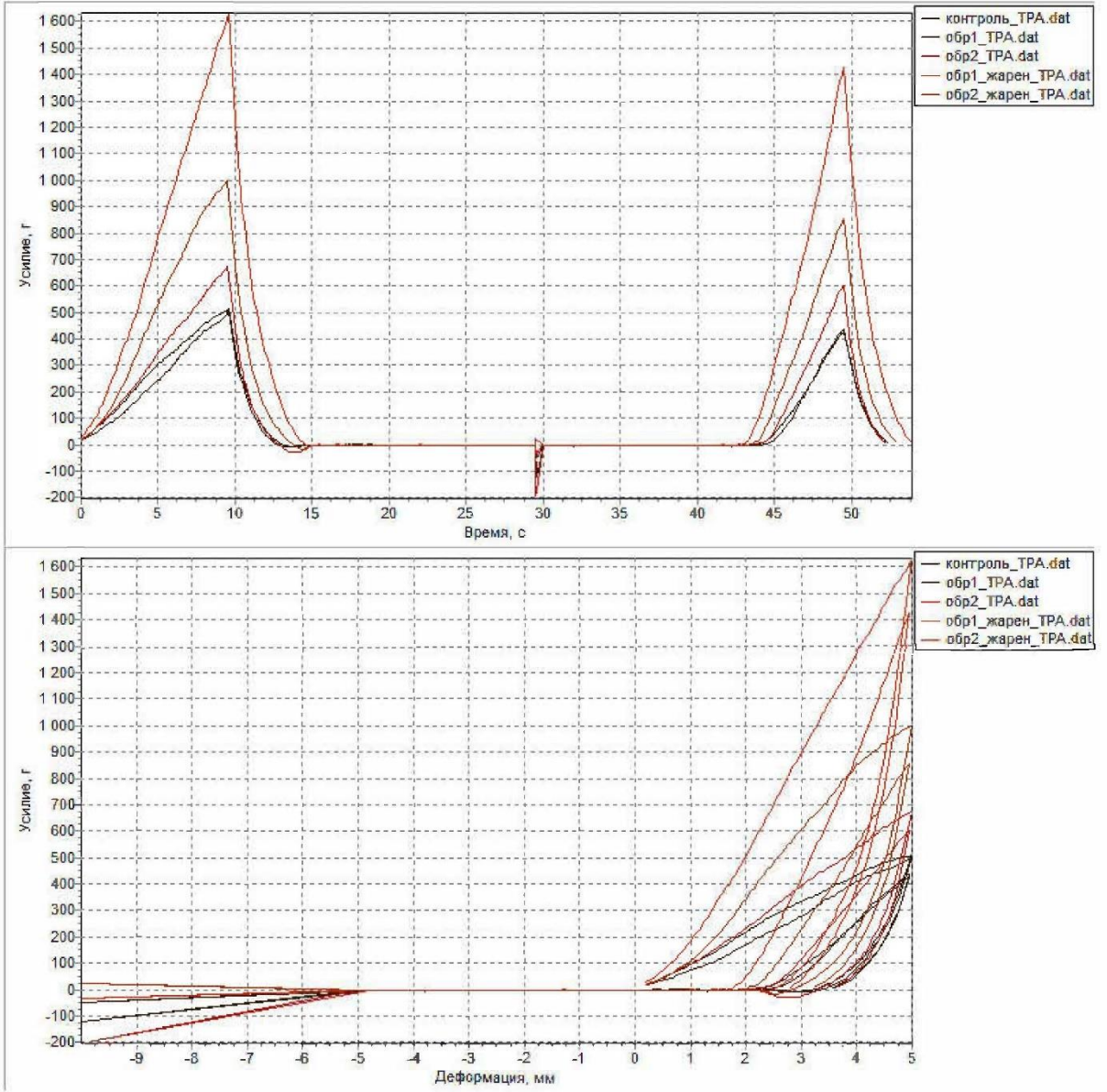
$V_d$ , мм/с	0,5
$t$ , с	100
$F_k$ , г	7

6. Возврат индентора 36 мм в базовую точку со скоростью движения  $V_d$

$V_d$ , мм/с	0,5
$H_v$ , мм	10
$t$ , с	100

##### Результаты измерения:

№ Имя файла	Дата и время	F1 (цикл 1), г	F1 (цикл 2), г
12 контроль_ТРА.dat	01.03.2022 18:13:50	514,100	427,600
14 обр1_ТРА.dat	01.03.2022 18:15:20	501,700	438,700
15 обр2_ТРА.dat	01.03.2022 18:16:08	673,000	603,200
19 обр1_жарен_ТРА.dat	01.03.2022 18:37:56	1633,000	1426,000
20 обр2_жарен_ТРА.dat	01.03.2022 18:38:26	998,000	856,500



**Приложение Д  
(обязательное)**

**Технические условия ТУ 10.89.19-002-02069214-2025**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Уральский государственный экономический университет»  
(УрГЭУ)**

ОКПД 2 10.89.19.210

ОКС 67.220.20 (Группа Н 11)



УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО УрГЭУ

Я.П. Силин

2025 г.

**ГИДРОЛИЗАТ РАСТИТЕЛЬНЫЙ СУХОЙ  
«ПЕПТИД-АКТИВ»**

**Технические условия  
ТУ 10.89.19-002-02069214-2025  
(Вводятся впервые)**

Дата введения в действие  
*« 18 » августа 2025 г.*

РАЗРАБОТАНО:  
ФГБОУ ВО УрГЭУ  
кафедра «Технологии питания»

Бикбулатов П.С.

Екатеринбург  
2025

**Приложение Е**  
**(обязательное)**

**Технологическая инструкция ТИ 10.89.19-002-02069214-2025**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Уральский государственный экономический университет»  
(УрГЭУ)**

ОКПД 2 10.89.19.210

ОКУ 67.220.20 (Группа Н 36)



УТВЕРЖДАЮ:  
Ректор ФГБОУ ВО УрГЭУ

Я.П. Силин

2025 г.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ**

**по производству гидратизата растительного сухого  
«Пептид-Актив»**

**ТИ 10.89.19-002-02069214-2025**

**(Вводятся впервые)**

**Дата введения в действие**  
*« 18 » августа 2025 г.*

**РАЗРАБОТАНО:**  
ФГБОУ ВО УрГЭУ  
кафедра «Технологии питания»

**Блекбулатов П.С.**

**Приложение Ж**  
**(обязательное)**

**Протокол испытаний по определению показателей безопасности**



г. Москва  
ООО НИИ «Профи.Био»  
14.05.2026 г.

**Протокол испытаний № 1605**

Наименование исследуемого продукта:	Сухой гидролизат белка из шрота амаранта
	Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота
Характеристика исследования:	Определение показателей безопасности

**Результаты**

**1. Характеристики продукта**

Параметр	Норматив	
	Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота
Внешний вид	Однородная тонкоизмельченная масса светло-бежевого (из шрота амаранта) и темно-бежевого (из подсолнечного шрота) цвета без посторонних включений, с наличием отдельных легко рассыпающихся комочков	
Запах	Запах нейтральный	Запах «ореховый»
pH	7,00	7,00
Содержание белка	78,86%	68,92%
Влажность	4,79%	5,23%



## 2. Микробиологические показатели

Наименование образца	Наименование показателя	Ед. измерения	Результат испытаний	Норматив	НД на метод испытаний
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	БГКП (колиформы) в 1,0г	-	Не обнаружено	Не допускает ся в 1,0 г	ГОСТ 31747-2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий).
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота					
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	КМАФАнМ	КОЕ/г	Не обнаружено	Не более $1 \cdot 10^3$	ГОСТ 10444.15-94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно – анаэробных микроорганизмов.
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота			$3,6 \cdot 10^2$		
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	Дрожжи в 1,0г	-	Не обнаружено	Не допускает ся в 1,0 г	ГОСТ 10444.12-2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных.
Сухой гидролизат белка из					

ООО НИИ «Профи.Био»  
 Юридический адрес: 129347, Москва г, Ярославское ш, дом 146, корпус 2, офис 401  
 ИНН/КПП: 7716838766/771601001, ОГРН: 5167746296020  
 E-mail: info@profi-biotech.ru  
 Тел: +7 (495) 367-23-32



подсолнечного шрота					Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	Плесени в 1,0г	-	Не обнаружено	Не допускает ся в 1,0 г	ГОСТ 10444.12-2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота					

### 3. Токсичные элементы

Наименование образца	Наименование показателя	Ед. измерения	Результат испытаний	Норматив	НД на метод испытаний
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	Массовая доля кадмия	Мг/кг	Менее 0,01	Не более 0,2	ГОСТ 30178-96 Сырьё и продукты пищевые.

ООО НИИ «Профи.Био»

Юридический адрес: 129347, Москва г, Ярославское ш, дом 146, корпус 2, офис 401

ИНН/КПП: 7716838766/771601001, ОГРН: 5167746296020

E-mail: info@profi-biotech.ru

Тел: +7 (495) 367-23-32



Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота					Атомно - абсорбционный метод определения токсичных элементов.
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	Массовая доля мышьяка	Мг/кг	Менее 0,01	Не более 1,00	ГОСТ 31266-2004 Сырьё и продукты пищевые. Атомно - абсорбционный метод определения мышьяка.
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота					
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	Массовая доля ртути	Мг/кг	Менее 0,0025	Не более 0,03	ГОСТ 26927-86 Сырьё и продукты пищевые. Методы определения ртути (п.2, п.3).
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота					
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	Массовая доля свинца	Мг/кг	Менее 0,02	Не более 1,00	ГОСТ 30178-96 Сырьё и продукты пищевые. Атомно - абсорбционный метод определения токсичных элементов.
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота			Менее 0,01		

#### 4. Пестициды

ООО НИИ «Профи.Био»  
 Юридический адрес: 129347, Москва г, Ярославское ш, дом 146, корпус 2, офис 401  
 ИНН/КПП: 7716838766/771601001, ОГРН 5167746296020  
 E-mail: info@profi-biotech.ru  
 Тел: +7 (495) 367-23-32



Наименование образца	Наименование показателя	Ед. измерения	Результат испытаний	Норматив	НД на метод испытаний
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	ГХЦГ (альфа, бетта, гамма - изомеры) в 1кг	-	Не обнаружено	Не более 0,2 мг	ГОСТ 32308-2013 Мясо и мясные продукты. Определение содержания хлорорганических пестицидов методом газожидкостной хроматографии
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота					
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	ДДТ и его метаболиты в 1кг	-	Не обнаружено	Не более 0,05 мг	ГОСТ 32308-2013 Мясо и мясные продукты. Определение содержания хлорорганических пестицидов методом газожидкостной хроматографии
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота					

## 5. Микотоксины



Наименование образца	Наименование показателя	Ед. измерения	Результат испытаний	Норматив	НД на метод испытаний
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	Афлатоксин В1 в 1кг	-	Не обнаружено	Не более 0,005 мг	ГОСТ 30711-2001 Продукты пищевые. Методы выявления и определения содержания афлатоксинов В1 и М1
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота					
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	Дезоксинивален ол в 1кг	-	Не обнаружено	Не более 0,7 мг	ГОСТ EN 15891-2013 Продукты пищевые. Определение дезоксиниваленола в продовольственном зерне, продуктах его переработки и продуктах на зерновой основе для питания грудных детей и детей раннего возраста. Метод
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота					

ООО НИИ «Профи.Био»

Юридический адрес: 129347, Москва г, Ярославское ш, дом 146, корпус 2, офис 401

ИНН/КПП: 7716838766/771601001, ОГРН: 5167746296020

E-mail: info@profi-biotech.ru

Тел: +7 (495) 367-23-32



					ВЭЖХ с применением иммуноаффинной колоночной очистки экстракта и спектрофотометрического детектирования в ультрафиолетовой области спектра
Сухой гидролизат белка из шрота амаранта	Зеараленон в 1кг	-	Не обнаружено	Не более 1,0 мг	ГОСТ 31691-2012 Зерно и продукты его переработки, комбикорма Определение содержания зеараленона методом высокоэффективной жидкостной хроматографии
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота					
Сухой гидролизат	Меламин в 1кг	-	Не обнаружено		ГОСТ 34515-2019

ООО НИИ «Профи.Био»

Юридический адрес: 129347, Москва г, Ярославское ш, дом 146, корпус 2, офис 401

ИНН/КПП: 7716838766/771601001, ОГРН: 5167746296020

E-mail: info@profi-biotech.ru

Тел: +7 (495) 367-23-32



белка из шрота амаранта				Не допускается ( $< 1$ мг)	Молоко, молочная продукция, соевые продукты. Определени е массовой доли меламин
Сухой гидролизат белка из подсолнечного шрота					

Дата проведения испытаний: 04-08.05.2026г.

Руководитель исследовательского центра НИИ Профи.Био **И.А.Кашеварова**

