

На правах рукописи



Пилякина Вероника Дмитриевна

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСТРУДАТОВ ВЫСОКОБЕЛКОВОГО
РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕННОГО ХЛЕБА**

4.3.3 Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой пищевых систем и технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» Дерканосова Наталья Митрофановна

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор кафедры зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» Белявская Ирина Георгиевна

Ведущая организация: Доктор технических наук, профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» Пономарева Елена Ивановна
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»

Защита состоится «29» июня 2026 года в 12 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 24.2.353.05 при ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: 302020 г. Орёл, Наугорское шоссе, д.29 ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (<https://oreluniver.ru>)

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации направлять в диссертационный совет по адресу: 302020 г. Орёл, Наугорское шоссе, д.29 ауд. 212. E-mail: simonenkova1@mail.ru

Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» <https://oreluniver.ru> и в сети интернет на сайте Министерства образования и науки РФ: <https://vak.minobrnauki.gov.ru> «27» апреля 2026 года.

Автореферат разослан «22» мая 2026 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета,
к.т.н., доцент



А.П. Симоненкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В современных условиях одним из приоритетных направлений государственной политики Российской Федерации является обеспечение здорового питания населения страны. Установлено, что питание вносит до 50 % вклада в обеспечение здоровья и работоспособности. Решается задача соответствия рационов питания физиологическим потребностям человека в макро- и микронутриентах, в числе которых белки и аминокислоты. Восполнение их дефицита возможно путем эффективного использования отечественных сырьевых ресурсов растительного происхождения, в том числе высокобелковых. Для решения проблем сбалансированности питания необходима и разработка инновационных технологий продуктов, обогащенных ингредиентами, максимально удовлетворяющими потребности организма человека. При этом целесообразно обогащать продукты, входящие в повседневные рационы питания. Одной из таких групп являются хлебобулочные изделия - традиционные, наиболее доступные и хорошо усваиваемые продукты питания. Значительный вклад в решение проблемы обогащения хлебобулочных изделий внесли Л.П.Пашенко, В.Я.Черных, Ю.Ф.Росляков, С.Я.Корячкина, Е.А.Кузнецова, Н.В. Лабутина, Г.О.Магомедов, И.М.Жаркова, И.Г.Белявская, И.А.Никитин, Н.А.Березина, Е.И.Пономарева и многие другие ученые. Однако в настоящее время потребительский рынок, по-прежнему, не обеспечивает запросы населения в продуктах питания, в полной мере поддерживающих здоровье населения. Что обуславливает целесообразность продолжения исследований в этом направлении. Кроме того, важным аспектом решения этой проблемы является возможность ее практической реализации. В связи с чем, существует запрос на обогащающие ингредиенты отечественного происхождения, доступные, идентифицируемые и обладающие как технологическими, так и нутриетными достоинствами.

Работа проводилась в рамках госбюджетной научно-исследовательской темы кафедры товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ «Использование потенциала сельскохозяйственного сырья для разработки технологий пищевых продуктов с улучшенными характеристиками, специализированного и функционального назначения».

Диссертация соответствует пунктам 4, 11, 13, 19 паспорта научной специальности 4.3.3. Пищевые системы.

Цель и задачи исследования. Комплексная оценка обогащающего потенциала высокобелкового сырья растительного происхождения в технологии хлеба с повышенной биологической ценностью посредством изучения свойств сырья и моделирования структуры обогащающей смеси

Задачи, решаемые в рамках поставленной цели:

- изучение перспективных направлений обогащения хлебобулочных изделий на основе исследований предпочтений потребителей относительно хлебобулочных изделий с направленно измененным составом;
- определение и сравнительный анализ нутриентного состава муки, полученной из экструдатов высокобелковых культур: сои сорта Опус, нута сорта Приво 1, амаранта сорта Универсал и люпина сорта Дега;
- изучение влияния муки из экструдатов высокобелковых культур на хлебопекарные свойства муки пшеничной хлебопекарной;
- математическое моделирование состава биологически ценного обогащающего ингредиента из смеси муки из экструдатов высокобелковых культур;
- исследование влияния обогащающего ингредиента из смеси муки из экструдатов высокобелковых культур на биотехнологические процессы созревания теста;
- исследование потребительских характеристик хлеба, обогащенного смесью

экструдатов высокобелковых культур, определение параметров его хранения;

- разработка нормативной документации на продукты переработки высокобелковых культур и хлеба с высокобелковой обогащающей добавкой;
- апробация рецептурного состава и способа получения хлеба белого, обогащенного смесью экструдатов высокобелковых культур, в опытно-промышленных условиях.

Научная новизна. Проведена комплексная экспериментальная и теоретическая оценка функционально - технологического и нутриентного потенциала муки и обогащающей смеси из экструдата сои сорта Опус, нута сорта Приво 1, амаранта сорта Универсал и люпина сорта Дега с позиций применения в технологии обогащенного хлеба из сортовой пшеничной муки:

- определены предпочтения потребителей в отношении обогащенного хлеба и обогащающих ингредиентов;
- изучен комплекс характеристик муки из экструдатов сои сорта Опус, нута сорта Приво 1, амаранта сорта Универсал и люпина сорта Дега, включая оценку качества белка;
- установлено влияние муки из экструдатов высокобелковых культур на хлебопекарные свойства сортовой пшеничной муки;
- предложен математический инструментарий для проектирования состава композитной смеси для производства обогащенного сбалансированным белком хлеба;
- установлены закономерности биотехнологических процессов формирования качества хлеба с обогащающим ингредиентом;
- установлено влияние высокобелковой обогащающей добавки на нутриентный состав хлеба из сортовой пшеничной муки.

Практическая значимость работы. В результате проведенных исследований:

- обоснована перспективность использования экструдатов сои сорта Опус, нута сорта Приво 1, амаранта сорта Универсал, а также люпина сорта Дега в качестве обогащающих ингредиентов хлебобулочных изделий;
- разработана и утверждена нормативная документация на муку из экструдата сои (ТУ 10.61.22-010-00492894-2024 от 04.03.2024 г.), муку из экструдата нута (ТУ 10.61.22-009-00492894-2024 от 04.03.2024 г.), муку из экструдата амаранта (СТО 00492894-004-2020 от 21.01.2020 г.), муку из экструдата люпина (ТУ 10.61.22-001-00492894-2025 от 01.03.2025 г.);
- проведена опытно-промышленная апробация способов получения высокобелковых ингредиентов в условиях учебно-научно-производственного комплекса «Агропереработка» ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, обогащенного хлеба – в условиях ОСП ООО «Европа» гипермаркет «Европа-53» г. Воронеж;
- апробирован состав обогащающей смеси повышенной биологической ценности из экструдатов сои, нута, люпина в технологии хлеба;
- разработан рецептурный состав белого обогащенного. На хлеб белый обогащенный разработана и утверждена нормативная документация (ТУ 10.71.11-007-00492894 «Хлеб белый обогащенный»).

Положения, выносимые на защиту. Теоретическое и экспериментальное обоснование применения смеси из экструдата сои сорта Опус, нута сорта Приво 1 и люпина сорта Дега, как высокобелкового обогащающего ингредиента.

Выбор математического инструментария для проектирования сбалансированного по качеству белка состава обогащающей смеси для производства хлеба.

Результаты проектирования рецептурного состава обогащенного хлеба, идентификация его состава, как обогащенного продукта.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных и научно-практических конференциях различного уровня: студенческой научной конференции «Молодежный вектор развития

аграрной науки», г. Воронеж, 2017 г., международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания», г. Екатеринбург, 2017 г., V международной конференции в области товароведения и экспертизы товаров «Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров», г. Курск, 2017 г., XI международной научно-практической конференции молодых ученых. «Инновационные тенденции развития российской науки», г. Красноярск, 2018 г., II международной научно-практической интернет-конференции «Научные исследования - сельскохозяйственному производству» г. Орел, 2023 г., международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук «Современные задачи и перспективные направления инновационного развития аграрной науки», г. Курган, 2024 г., XX международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития хозяйствующих субъектов, территорий и систем регионального и муниципального управления», г. Воронеж, 2025 г., международной научно-практической конференции им. Д.И. Менделеева, г. Тюмень, 2025 г. и других.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 17 работ, в том числе 4 в периодических изданиях, рекомендуемых ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературных источников, экспериментальной части, выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 150 страницах основного текста, содержит 6 приложений, иллюстрирована 56 рисунками и 35 таблицами. Список литературы включает 310 наименований, в том числе 19 иностранных источников.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, поставлена цель и сформулированы задачи исследований, отмечена научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе представлены анализ регионального рынка муки и продукции на ее основе, выборочная информация о структуре функциональных продуктов и обогащенных хлебобулочных изделий в федеральном разрезе. Приведен обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы в части предлагаемых к использованию обогащающих добавок из нетрадиционных сырьевых ингредиентов и способов обогащения хлебобулочных изделий. Рассмотрены перспективы применения растительного сырья для корректировки нутриентного состава хлебобулочных изделий.

Во второй главе рассмотрены объекты и методы исследований. Структурная схема работы представлена на рисунке 1. Экспериментальные и аналитические исследования, опытные и опытно-промышленные испытания осуществлялись в структурных подразделениях (лабораториях, испытательных центрах) ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, БУ ВО «Воронежская областная ветеринарная лаборатория», ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области». Объектами исследования на различных этапах являлись: результаты изучения мнений потребителей обогащенных хлебобулочных изделий; мука из экструдатов высокобелковых культур, выращенных на полях УНТЦ «Агротехнология» Воронежского ГАУ: соя сорта Опус, нут сорта Приво 1, люпин сорта Дега, амарант сорта Универсал; модельные мучные смеси из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта с массовой долей обогащающего ингредиента (муки из экструдата сои, нута и люпина) от 5 до 20%; хлеб белый из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта с массовой долей обогащающего ингредиента (смеси из муки экструдата сои, нута и люпина) от 5 до 20%.

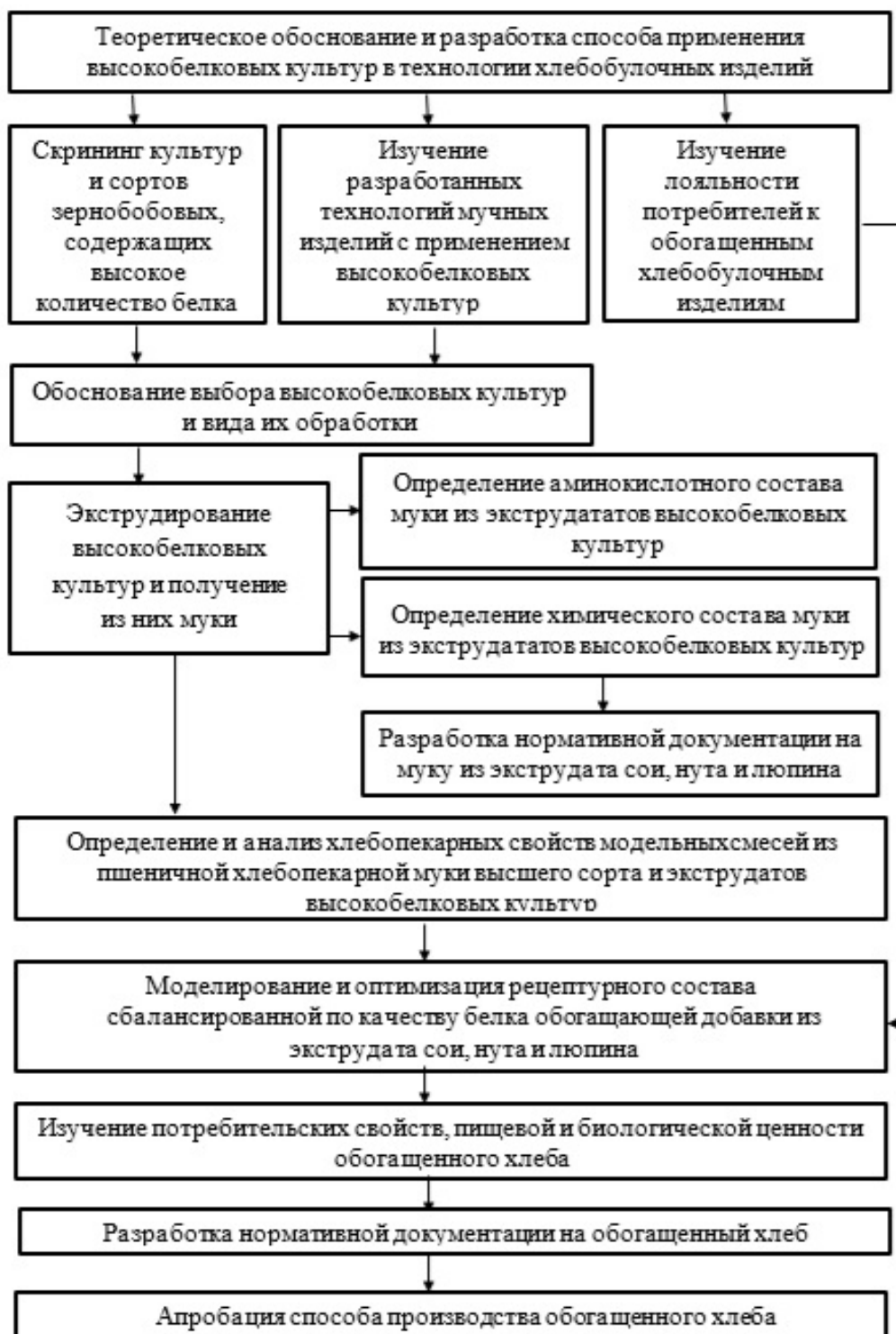


Рисунок 1 – Схема исследования

В третьей главе представлены результаты комплексного исследования потенциала высокобелковых экструдатов в технологии хлебобулочных изделий. Работа построена по принципу «от запроса потребителя – к готовому продукту» и включает социологический, аналитический, экспериментальный и экономический блоки.

Анализ частоты потребления показал, что хлебобулочные изделия являются продуктом регулярного спроса: 46,4 % респондентов употребляют их ежедневно, 44,0 % – 1–3 раза в неделю, что подтверждает целесообразность использования хлеба в качестве объекта обогащения. В структуре предпочтений по видам муки отмечена гендерная дифференциация: женщины чаще выбирают изделия из смеси ржаной и пшеничной муки, мужчины – из пшеничной. Основную долю в потреблении занимает хлеб (63,2 %

опрошенных), на втором месте – булочные изделия (24,8 %).

Принципиальным для работы стал вопрос об отношении к обогащённым изделиям (рис.2). Установлено, что 61,6 % респондентов периодически покупают продукцию с добавками, улучшающими пищевую ценность, 5,6 % – предпочитают исключительно такие изделия, 4,8 % – хотели бы попробовать. Доля приверженцев исключительно традиционной рецептуры составила 28,0 %. Таким образом, совокупная лояльная к обогащению аудитория достигает 72,0 %.

Изучение информированности потребителей выявило, что 52,4 % знают о более высокой усвояемости экструдированных продуктов, а 76,4 % из них осведомлены и о полезных свойствах высокобелковых компонентов. Интерес к продуктам повышенной белковой ценности проявили 55,6 % опрошенных.

Ранжирование предпочтений по направлениям обогащения (рис.3) показало лидерство витаминно-минерального комплекса, за которым следуют пищевые волокна и белковые вещества. Аналогичное распределение получено и при ответе на вопрос о перспективных направлениях развития ассортимента. При этом 79,2 % респондентов допускают умеренное повышение цены (не более 10 %), а 49,6 % готовы к незначительным изменениям традиционных органолептических характеристик при условии доказанного улучшения состава. Женщины значительно чаще мужчин обращают внимание на маркировку: 56,0 % женщин делают это всегда, тогда как 51,7 % мужчин – лишь иногда.

Сформулированы исходные требования к проектируемому продукту: сохранение традиционных сенсорных свойств, использование экструдированного высокобелкового сырья из цельного зерна для обеспечения комплекса нутриентов.



Рисунок 2 - Распределение респондентов по частоте потребления хлебобулочных изделий, % от числа опрошенных



Рисунок 3 - Распределение по предпочтению обогащенных изделий или целевого назначения, % от числа опрошенных

В качестве сырьевых источников обогащающих ингредиентов были выбраны высокобелковые культуры: соя сорта Опус, нут сорта Приво 1, амарант сорта Универсал и люпин сорта Дега. Для применения в технологии хлеба цельные семена культур

экструдировали. Экструзионная обработка обеспечивает термостерилизацию, повышение переваримости белков и полисахаридов и улучшение вкусовых качеств сырья.

Органолептическая характеристика экструдатов высокобелковых культур свидетельствует о формировании приятных ореховых ноток во вкусе и запахе соевой и амарантовой муки; для нутовой характерен нейтральный профиль, для люпиновой – лёгкая горчинка в послевкусии. Цвет муки варьируется от светло-бежевого до жёлтого, что обусловлено использованием цельного зерна, его пигментами и образованием меланоидинов.

Химический состав экструдатов в сравнении с пшеничной хлебопекарной мукой высшего сорта представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика муки пшеничной и муки из экструдатов

Наименование нутриента	Содержание нутриентов в 100 г продукта				
	мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта	мука из экструдата сои сорта Опус	мука из экструдата нута сорта Приво 1	мука из экструдата амаранта сорта Универсал	мука из экструдата люпина сорта Дега
Вода, г	14,0±0,4	6,0±0,2	6,7±0,2	9,5±0,3	4,7±0,2
Белки, г	10,3±0,3	42,8±1,5	17,9±0,5	26,5±0,7	28,9±0,7
Жиры, г	1,1±0,04	8,8±0,3	14,6±0,4	13,8±0,4	20,1±0,5
Моно- и дисахариды, г	0,2±0,008	7,5±0,2	10,8±0,3	4,1±0,1	12,3±0,4
Пищевые волокна, г	0,1±0,004	13,3±0,4	2,0±0,05	8,9±0,3	7,8±0,3
Калий, мг	122,0±4,88	1818,0±72,7	1360,0±54,5	504,1±20,6	1350,0±54,0
Кальций, мг	18,0±0,72	280,0±11,2	62,0±2,5	360,0±14,4	320,0±12,8
Магний, мг	16,0±0,08	220,0±8,8	99,0±3,96	86,5±3,46	439,0±17,56
Фосфор, мг	86,0±3,44	515,0±20,6	220,0±8,8	630,0±25,2	160,0±6,4
Железо, мг	1,2±3,39	15,0±0,6	6,0±0,2	10,0±0,4	19,2±0,77

Анализ подтверждает, что по содержанию белка, пищевых волокон и минеральных веществ все исследуемые экструдаты значительно превосходят пшеничную муку высшего сорта, что обосновывает их выбор в качестве обогащающих ингредиентов. По содержанию белка, пищевых волокон и кальция выделяются соя, люпин и амарант.

Аминокислотный состав и расчёт аминокислотного сора позволили выявить лимитирующие аминокислоты и рассчитать комплекс показателей биологической ценности (табл.2).

Таблица 2 – Показатели биологической ценности муки пшеничной и муки из экструдатов

Показатель	Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта	Мука из экструдата			
		соя сорта Опус	нута сорта Приво 1	амаранта сорта Универсал	люпина сорта Дега
Лимитирующая аминокислота	Лизин	Треонин	Метионин+ Цистеин	Лейцин	Лейцин
КРАС, %	50,94	91,83	33,19	26,74	43,29
БЦ, %	49,06	8,17	66,81	73,26	56,71
Коэффициент рациональности	0,48	0,23	0,72	0,78	0,92

Белок пшеничной муки характеризуется низкой эффективностью для синтеза в организме человека (БЦ 49,06 %). Наилучшим соотношением КРАС и БЦ обладает амарантовый экструдат, однако с учётом специфичности вкуса и технологических ограничений для дальнейшей оптимизации выбраны соя, нут и люпин. Мука из экструдата сои рекомендована для количественного обогащения белком, нут, амарант и люпин – для одновременного улучшения качественного состава белка.

Для исследования хлебопекарных свойств мучных смесей составляли модельные смеси в соотношениях муки пшеничной и муки из экструдатов, в масс.долях от 95:5 до

80:20. Установлено, что с ростом доли обогащающей добавки закономерно снижается количество сырой клейковины (рис. 4). При 5 % дозировке оно составляет 26,6–27,0 %, при 20 % - снижается до 17,6–22,5 %. Качество клейковины изменяется дифференцированно: соевая мука увеличивает показатель ИДК в пределах средних значений (52,5–72,0 ед. ИДК), нутовая – снижает до удовлетворительно крепкой (53,0–37,5 ед. ИДК), люпиновая – даёт переход от удовлетворительно крепкой к средней. Показано, что при использовании муки с изначально слабой клейковиной отрицательное влияние нутowego и люпинового компонентов может нивелироваться.

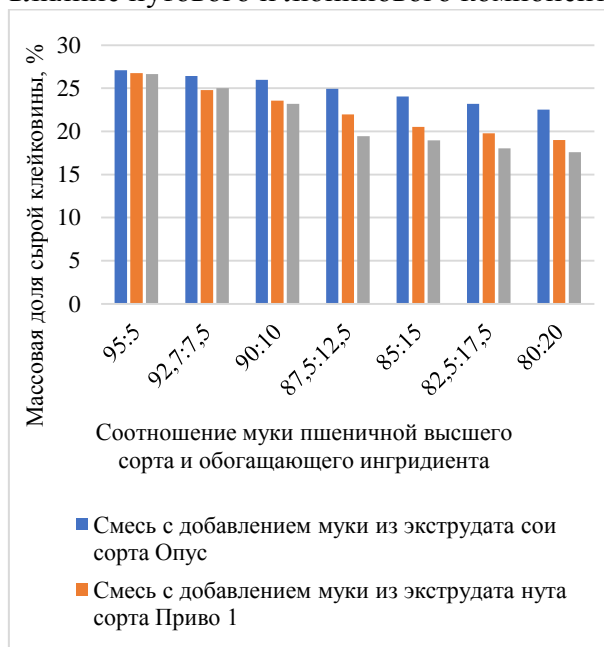


Рисунок 4 - Влияние дозировки обогащающего ингредиента на качество сырой клейковины (усл.ед. прибора ИДК-1м) мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и муки из экструдата сои/нута/люпина

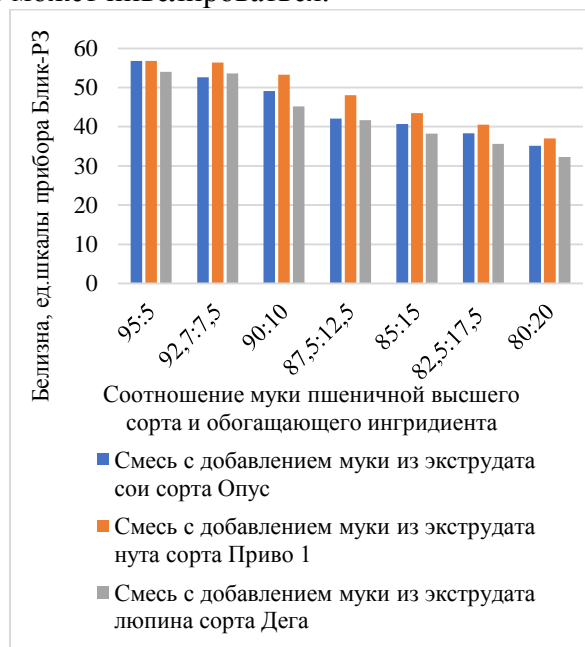


Рисунок 5 - Влияние дозировки обогащающего ингредиента на белизну (ед.шкалы прибора Блик-Р3) мучной модельной смеси из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и муки из экструдата сои/нута/люпина

Белизна мучных смесей при замене 5 % муки соответствует высшему сорту (56,8 ед. шкалы Блик-Р3). Увеличение дозировки до 17,5 % переводит большинство смесей в категорию первого сорта (рис.5). Зольность возрастает с 0,41 до 1,26 %, что коррелирует с ростом минеральной ценности. Кислотность смесей с нутовой экструдатом варьирует в допустимых пределах (3,1–3,6 град), тогда как соевая и люпиновая мука при дозировках выше 10 % формируют показатели, характерные для обойной муки, что требует технологической корректировки.

При проектировании состава обогащающей мучной смеси поставлена и решена задача оптимизации структуры незаменимых аминокислот (НАК). Предложена модификация скоры, заключающаяся в том, что оценивается отношение доли отдельной НАК в обогащающей компоненте к доле соответствующей НАК в идеальном белке, причем весь комплекс НАК принят за единицу. Модификация скоры учитывает различную долю НАК в общем белке компонентов. На основе анализа структуры НАК обогащающих компонентов сформулирована задача расчета смеси, оптимальной по структуре НАК, в качестве критерия оптимальности выбрана максимизация лимитирующего скоры, т.е.

$F = \min_j S_j \rightarrow \max$, где S_j – модифицированный скор j -ой НАК смеси; $S_j = A_j/r_j$, где A_j – доля j -той незаменимой аминокислоты в сумме НАК в смеси, г/г НАК белка; r_j – доля j -той незаменимой аминокислоты в сумме НАК «идеального» белка, г/г НАК белка.

$$A_j = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ji}x_i}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_{ji}x_i}, \quad (1)$$

где c_{ji} – количество j -ой НАК в i -той обогащающей компоненте, грамм/грамм белка, x_i – доля общего белка компоненты в смеси, n – количество наименований обогащающих компонент, m – количество наименований НАК в оптимизационной задаче.

Таким образом, имеем задачу нелинейной оптимизации, заключающуюся в определении долей общего белка компонент (x_i), обеспечивающих максимальный лимитирующий скор смеси. В расчете структуры смеси необходимо учесть содержание белковой части в компонентах, т.е. доля обогащающей компоненты y_i рассчитывается по формуле

$$y_i = \left[\frac{x_i}{b_i} \right] / \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{b_i}, \quad (2)$$

где b_i – количество белка в обогащающей компоненте, грамм/грамм.

Решение задачи с ограничением по содержанию клейковины (не ниже 25 %) и доле обогащающей добавки (не более 20 % к массе муки) приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики компонент и оптимальной обогащающей смеси

Показатель	Мука пшеничная высшего сорта (спаравочно)	Мука из экструдата сои	Мука из экструдата нута	Мука из экструдата люпина	Обогащающая смесь
Скор Лизин, д.е.	0,4832	0,9179	1,2121	0,9182	1,1887
Доли белка компонент (x_i), %	-	2,30	92,40	5,30	100
Минимальный (лимитирующий) скор, д.е.	0,4832 Лизин	0,2345 Треонин	0,7177 Метионин+ цистин	0,6137 Лейцин	0,7617 Лейцин и Метионин+ цистин
Доли компонент (y_i), %	-	1,03	95,55	3,42	100

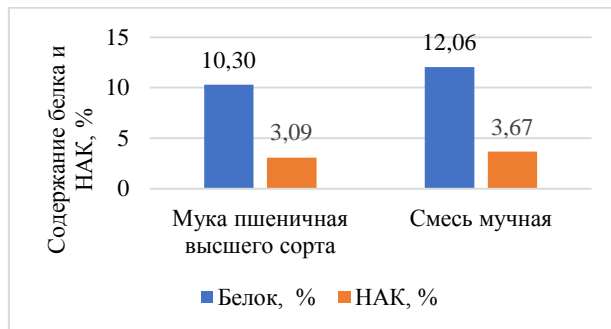
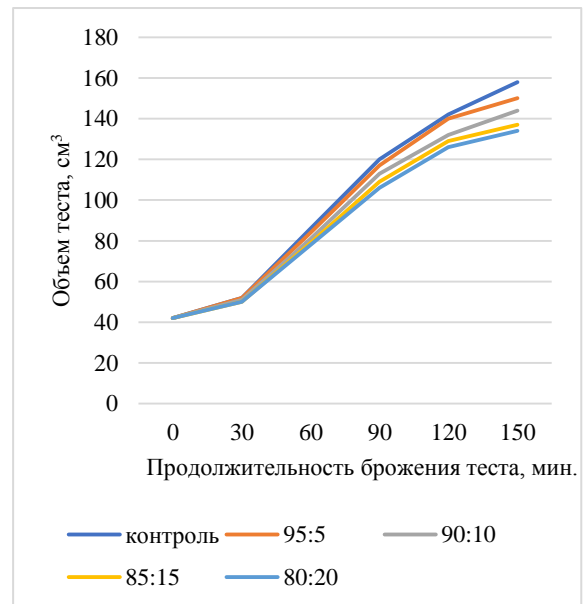
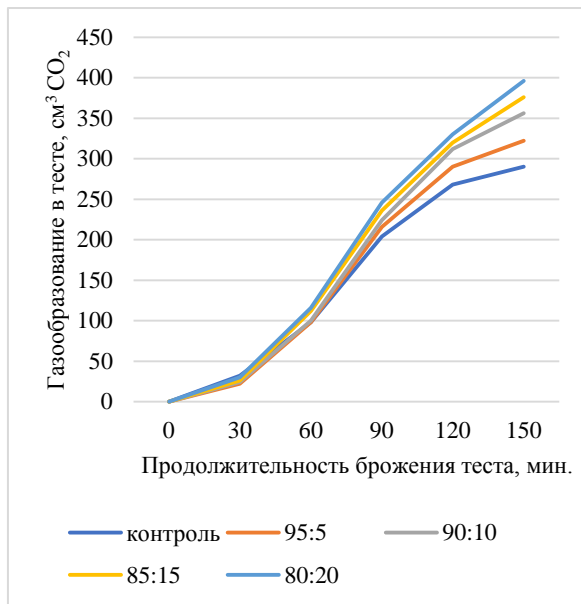


Рисунок 6 - Содержание белка и НАК в муке пшеничной и обогащенной мучной смеси

Замена части пшеничной муки на обогащающую смесь приводит к интенсификации газообразования в тесте (рис.7). Это объясняется внесением с экструдатами моно- и дисахаридов, а также доступных аминокислот, в первую очередь аспарагиновой и глутаминовой кислот, а также пептидов, стимулирующих бродильную микрофлору. В опытных образцах теста объём выделившегося CO_2 на 11-37 % превышал контроль, газообразование возрастало пропорционально дозировке (рис.8).

Оптимальная обогащающая смесь характеризуется скором лизина 1,1887 (против 0,4832 у пшеничной муки) и минимальным скором 0,7617 (по лейцину и метионину+цистину). Добавление 20 % такой смеси к пшеничной муке повышает общее содержание белка на 17,1 %, НАК – на 18,9 %, при этом доля НАК в белке возрастает незначительно (с 30,0 до 30,5 %), что свидетельствует именно о качественном улучшении структуры (рис.6)



Одновременно установлено снижение газодерживающей способности и рост расплываемости шарика теста, коррелирующие с уменьшением массовой доли клейковины. При дозировке 20 % средний диаметр шарика достигал 96 мм, что условно относит смесь к категории «средней по силе» и определяет рекомендацию по производству формового хлеба. Кислотность теста также возрастала как по начальному значению, так и по темпу кислотонакопления в процессе брожения. При реализации способа приготовления обогащенного хлеба целесообразно сокращение этапа брожения на 20-40 мин. Выявленные закономерности обусловили выбор дозировок для лабораторной выпечки.

Экспериментальная выпечка (рис.9) проведена для контрольного образца (хлеб белый из муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта) и четырёх опытных (замена муки пшеничной на 5, 10, 15 и 20 % обогащающим ингредиентом).

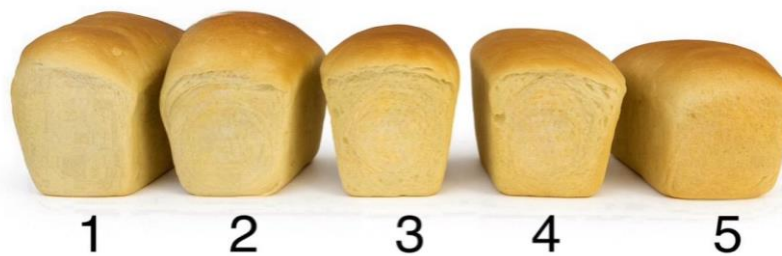


Рисунок 9 – Образцы хлеба: 1 – контрольный образец;
2,3,4,5 – соответственно при соотношении муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и обогащающей добавки, в масс. долях 95:5, 90:10, 85:15, 80:20

С увеличением доли добавки цвет темнеет, появляются орехово-травянистые нотки во вкусе, структура становится более плотной и мелкопористой. Показатели влажности стабильны, тогда как кислотность закономерно растёт. Пористость всех образцов (рис.10), кроме образца, содержащего 20 % обогащающего ингредиента, соответствует требованиям ГОСТ 26987-86 (не ниже 72 %).

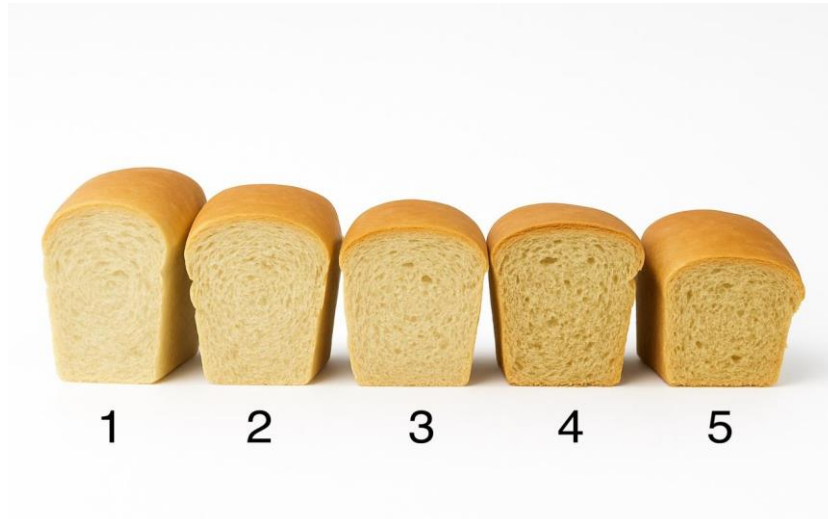


Рисунок 10 – Образцы хлеба: 1 – контрольный образец; 2,3,4,5 – соответственно при соотношении муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и обогащающей добавки, в масс. долях 95:5, 90:10, 85:15, 80:20

Потребительская балловая оценка выявила лучший образец – хлеб с 10 % обогащающей смеси (92,96 балла из 100 возможных), отличающийся цветом корки и мякиша, а также комплексным гармоничным вкусом-ароматическим профилем.

Оценка нутриентного состава (таблица 4) показала, что при замене 10 % муки пшеничной на смесь, содержание белка в 100 г хлеба возрастает на 4,97 %, жира – в 2,18 раза, пищевых волокон – в 2,6 раза, калия – на 87,9 %, магния – на 51,4 %, железа – на 36,5 %. Энергетическая ценность изменяется незначительно.

Таблица 4 – Содержание макро- и микронутриентов в 100 г хлеба

Нутриент	Содержание в образце		
	контрольном	при соотношении муки пшеничной хлебопекарной и обогащающей добавки, в масс. долях	
		90:10	80:20
Белки, г	7,44±0,30	7,81±0,30	8,26±0,38
Жиры, г	0,78±0,03	1,70±0,07	2,60±0,10
Пищевые волокна, г	0,10±0,004	0,26±0,02	0,41±0,04
Калий, мг	98,41±2,95	184,88±5,55	270,08±8,10
Магний, мг	12,72±0,38	19,26±0,58	26,08±0,78
Железо, мг	0,96±0,03	1,31±0,04	1,72±0,05

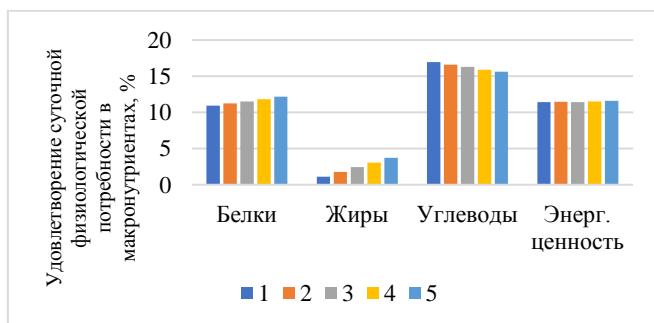


Рисунок 11 – Удовлетворение суточной физиологической потребности в макронутриентах (%) при потреблении 100 г изделия в сутки: 1 – контрольный образец; 2,3,4,5 – соответственно при соотношении муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта и обогащающей добавки, в масс. долях 95:5, 90:10, 85:15, 80:20

В соответствии с ГОСТ 55577-2013 образцы с добавкой 5–20 % классифицируются как «источник белка» (12,73–13,59 % энергетической ценности обеспечивается белком). Анализ аминокислотного состава (таблица 5) выявил рост скоров всех НАК. Биологическая ценность хлеба с 10 % добавки составляет 81,38 %, с 20 % – 82,33 % (контроль – 75,55 %). Коэффициент рациональности аминокислотного состава возрастает с 0,52 до 0,70 и 0,75 соответственно, что свидетельствует о существенном улучшении сбалансированности белка.

Таблица 5– Показатели биологической ценности хлеба

Показатель	Содержание в образце		
	контрольном	при соотношении муки пшеничной хлебопекарной и обогащающей добавки, в масс. долях	
		90:10	80:20
Биологическая ценность, %	75,55	81,38	82,33
КРАС, %	44,02	34,57	31,94
Коэффициент рациональности	0,52	0,70	0,75

По содержанию магния (начиная с соотношения муки пшеничной хлебопекарной и обогащающей добавки, в масс. долях 85:15), калия (начиная с соотношения 90:10) и железа (начиная с соотношения 95:5) хлеб может быть признан функциональным.

Исследована динамика влажности (рис.12), крошковатости, пористости (рис.13) и кислотности образцов хлеба в течение 72 ч при температуре (20±2) °С для четырёх вариантов упаковки. Максимальная усушка закономерно характерна для неупакованных образцов (снижение влажности на 7,1–8,1 %). Герметичная упаковка (термоусадочная плёнка, полипропиленовый пакет с клипсой) снижает потери влаги до 2,2–2,9 %. Крошковатость обогащённого хлеба во всех вариантах упаковки на 5–21 % ниже, чем у контроля, что связано с повышенным содержанием пищевых волокон и продуктов частичного гидролиза крахмала, способных удерживать воду. Пористость снижается в среднем на 3,8–4,5 %, минимальное падение зафиксировано при использовании полипропиленового пакета. Установленные закономерности характерны для обеих опытных проб. Подтверждена целесообразность установления срока годности 72 часа с применением термоусадочной плёнки или полипропиленовой упаковки с клипсой.

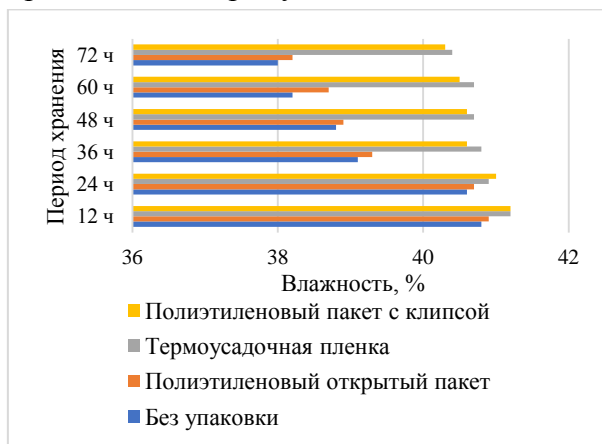


Рисунок 12 – Изменение влажности пробы опытного хлеба, содержащего 10% обогащающей смеси, при хранении, %

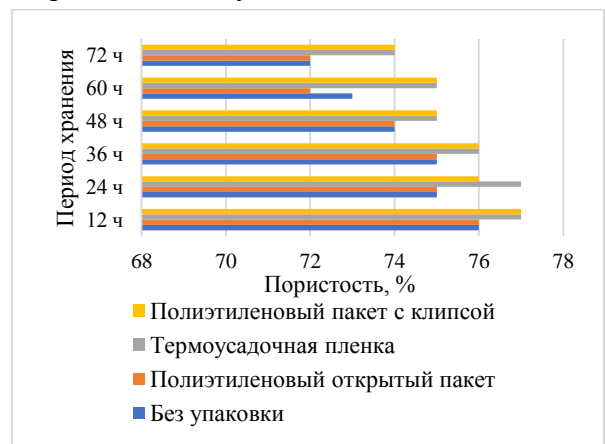


Рисунок 13 – Изменение пористости образца хлеба, содержащего 10% обогащающей смеси, при хранении, %

Сравнительный анализ затрат на производство 1 тонны хлеба (таблица 6) показал, что удорожание сырьевого набора при 10 %-ной замене составляет 27,7 %, при 20 %-ной – 55,5 %, что обусловлено стоимостью экструдатов.

Таблица 6 – Калькуляция себестоимости и рентабельности (на 1 т продукции)

Показатель	Контроль (0 %)	10 % замены	20 % замены
Затраты на сырьё, руб.	19 811,46	25 293,05	30 807,48
Полная себестоимость 1 шт. (0,5 кг), руб.	33,35	36,15	38,96
Цена реализации 1 шт., руб.	46,00	55,00	55,00
Прибыль на 1 шт., руб.	9,49	14,14	12,03
Уровень рентабельности, %	25,99	34,61	28,00

Несмотря на рост себестоимости, позиционирование обогащенного хлеба в более высоком ценовом сегменте (55 руб. за единицу) обеспечивает увеличение чистой прибыли на единицу продукции на 49 % для варианта с 10 % добавки. Уровень рентабельности достигает 34,61 % в сравнении с 25,99 % у контроля.

Таким образом, совокупность проведенных исследований подтверждает техническую реализуемость, потребительскую привлекательность, высокую пищевую и биологическую ценность, а также экономическую эффективность производства хлеба белого обогащенного с использованием разработанной смеси из экструдатов высокобелковых культур.

Выводы

1. По результатам изучения потребительских предпочтений в отношении обогащенных хлебобулочных изделий установлено, что хлебобулочные изделия остаются продуктами массового регулярного потребления. Высокий спрос на обогащенные изделия подтверждают 67,2% респондентов. Перспективными направлениями обогащения хлебобулочных изделий являются: обогащение витаминами и минеральными веществами, пищевыми волокнами и белковыми веществами.

2. В качестве сырьевых источников обогащающих ингредиентов целесообразно рассматривать районированное растительное сырье сельскохозяйственного назначения, отличающееся высоким содержанием белка: соя сорта Опус, нут сорта Приво 1, люпин сорта Дега и амарант сорта Универсал. В качестве способа получения обогащающих ингредиентов предложена экструзия. Содержание белка в экструдатах превышает показатель муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта в 1,7 – 4,1 раза, пищевых волокон – более чем в 20 раз, кальция, магния, железа соответственно в 3,4-20,0, 5,4-27,4, 5,0-16,0 раза. Биологическая ценность белка экструдата нута, люпина и амаранта составляет 66,81 %, 56,71 % и 73,26 % соответственно против 49,06 % в белке пшеничной муки. Биологическая ценность экструдатов существенно зависит от сорта, агротехнологических приемов и зоны выращивания.

3. Экструдаты высокобелковых культур оказывают практически идентичное влияние на хлебопекарные свойства муки. Увеличение доли экструдатов в интервале соотношения муки и экструдата, в масс.долях от 95:5 до 85:15 приводит к снижению количества клейковины, показателя белизны мучной смеси, увеличению кислотности, зольности, показателя автолитической активности (по количеству водорастворимых веществ). Приготовление хлеба на мучной смеси при соотношении муки пшеничной хлебопекарной и экструдата, в масс.долях 90:10, обеспечивает традиционное сенсорное восприятие. Дальнейшее увеличение доли экструдатов должно сопровождаться продвижением продукта, как обогащенного.

4. Предложен алгоритм определения оптимальной структуры обогащающей смеси по составу незаменимых аминокислот из экструдатов высокобелкового сырья растительного происхождения по составу незаменимых аминокислот. Результаты расчета показали прогнозируемое повышение белка за счет 20 % обогащающей смеси, увеличение общего белка на 17,1 %, увеличение незаменимых аминокислот на 18,9 %.

5. Внесение в рецептурный состав хлеба обогащающего ингредиента из экструдатов высокобелковых культур интенсифицирует процесс созревания теста: на 150 мин созревания показатель газообразования у образца, содержащего 20% обогащающего ингредиента, на 37 % выше, чем у контрольного, а показатель кислотности – на 72%. При этом газодерживающая способность теста снижается на 17,9 %. При реализации способа приготовления обогащенного хлеба целесообразно сокращение этапа брожения на 20-40 мин.

6. Изучение влияния обогащающей добавки из экструдатов высокобелковых культур на показатели качества хлеба показало, что изменение рецептуры путем замены части муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта на обогащающую добавку при соотношении в масс.долях 90:10 не оказывает влияния на сенсорное восприятие изделия.

При увеличении соотношения в пользу обогащающей добавки до соотношения в масс.долях 80:20 происходит изменение цвета, вкуса и аромата изделия. При этом полученное изделие может быть идентифицировано, как хлеб из сортовой пшеничной муки.

В образцах хлеба с внесением обогащающей добавки повышается содержание белка, пищевых волокон и минеральных веществ в соответствии с увеличением доли обогащающего ингредиента в рецептуре. В соответствии с ГОСТ 55577-2013 по признаку энергетической ценности, которая обеспечивается белком, опытные образцы хлеба могут быть признаны как источник белка. По содержанию магния (начиная с соотношения муки пшеничной хлебопекарной и обогащающей добавки, в масс.долях 85:15), калия (начиная с соотношения 90:10) и железа (начиная с соотношения 95:5) хлеб может быть признан функциональным. Показатель биологической ценности обогащенного хлеба возрастает на 7,7-8,9 %.

7. Прибыль от продажи 1 ед. хлеба при добавлении 10% экструдата из высокобелкового сырья растительного происхождения увеличится на 4,65 руб. (49,00 %), 20% - на 2,54 руб. (26,77 %). Уровень рентабельности составит 34,61 % и 28,00 % соответственно.

Публикации в рецензируемых научных изданиях

1. Дерканосова Н.М. Амарантовый экструдат как обогащающий ингредиент мучных изделий / Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова, И.Н. Пономарева, О.А. Василенко, В.Д. Ломова, Копылов М.В. // Хлебопродукты. - 2018. - №2. – С. 32-33.

2. Пилякина В.Д. Анализ аминокислотного состава муки из экструдата сои / В.Д. Пилякина, Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова, Некрасова Т.П., Копылов М.В. // Хлебопродукты. - 2023. - №4. – С. 30-33.

3. Пилякина В.Д. Изучение хлебопекарных свойств модельных смесей соевого экструдата и пшеничной муки / В.Д. Пилякина, Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова, М.В. Копылов // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2023. - №4 (81). – С. 3-7.

4. Пилякина В.Д. Мука из экструдата нута как высокобелковый обогащающий ингредиент / В.Д. Пилякина, Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова, О.А. Василенко, М.В. Копылов, Е.А. Пивненко // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. - 2024. - №4 (87). – С. 40-45.

Публикации в материалах конференций, научных журналах и сборниках научных трудов

5. Ломова В.Д. Амарант Воронежской селекции как обогащающий ингредиент хлебобулочных изделий / В.Д. Ломова, Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова // Материалы 68-й студ. науч. конф. Молодежный вектор развития аграрной науки. – Воронеж, 01 марта-30 апреля 2017 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 420-425.

6. Стахурлова А.А. Отношение потребителей к хлебобулочным изделиям, реализуемым в г. Воронеже / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, В.Д. Ломова, И.Н. Пономарева // Сборник статей V Международной конференции в области товароведения и экспертизы товаров. Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров. - Курск, 10 ноября 2017 г. – С. 290-294.

7. Стахурлова А.А. Исследование функционально-технологических свойств муки из экструдата амаранта / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева, В.Д. Ломова // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2017. - №2(9). – С.13-18.

8. Стахурлова А.А. Анализ функционально-технологических свойств муки с различной крупностью помола из экструдата амаранта / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, В.Д. Ломова, И.Н. Пономарева // Материалы Международной научно-

практической конференции. Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания. - Екатеринбург, 19 апреля 2017 г. – С. 243-246.

9. Стахурлова А.А. Определение показателя белизны в смесях пшеничной и амарантовой муки / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, В.Д. Ломова, И.Н. Пономарева // «Инновационные тенденции развития российской науки» Материалы XI международной научно-практической конференции молодых ученых. Том I. – Красноярск, 10–11 апреля 2018 г. – С. 285-287.

10. Пилякина В.Д. Перспективы использования экструдата сои для обогащения хлебобулочных изделий / В.Д. Пилякина, Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова, М.В. Копылов// Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2022. - №2 (19). – С. 20-25.

11. Дерканосова Н.М. Изучение автолитической активности мучных модельных смесей / Н.М. Дерканосова, В.Д. Пилякина, А.А. Стахурлова, О.А. Василенко // Научные исследования - сельскохозяйственному производству. Материалы II Международной научно-практической Интернет-конференции. - Орел, 3 марта 2023 г. – С. 123-127.

12. Пилякина В.Д. Перспективы использования смесей соевой и пшеничной муки в производстве хлебобулочных изделий / В.Д. Пилякина, Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова, М.В. Копылов // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2023. - №3 (22). – С. 36-44.

13. Пилякина В.Д. Перспективы использования модельных мучных смесей с повышенным содержанием белка в производстве хлебобулочных изделий / В.Д. Пилякина, Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова, О.В. Василенко, Е.А. Пивненко, М.В. Копылов // Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук. Современные задачи и перспективные направления инновационного развития аграрной науки. - Курган, 25 апреля 2024 г. – С. 142 – 146.

14. Пилякина В.Д. Изучение лояльности потребителей к обогащенным хлебобулочным изделиям / В.Д. Пилякина, Н.М. Дерканосова // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. - 2024. - №4 (27). – С. 130-137.

15. Пилякина В.Д. Исследование влияния люпина на хлебопекарные свойства мучных модельных смесей / В.Д. Пилякина, Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова, О.В. Василенко // Сборник материалов конференции. Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. - 2024. - №1. – С. 123-128.

16. Пилякина В.Д. Обеспечение продовольственной безопасности путем разработки инновационных пищевых продуктов / В.Д. Пилякина, Н.М. Дерканосова // Материалы XX международной научно-практической конференции. Актуальные проблемы развития хозяйствующих субъектов, территорий и систем регионального и муниципального управления. - Воронеж, 24 апреля – 22 мая 2025. – С. 106 – 110.

17. Пилякина В.Д. Исследование влияния экструдата люпина на хлебопекарные свойства пшеничной муки / В.Д. Пилякина, Н.М. Дерканосова // Материалы международной научно-практической конференции им. Д.И. Менделеева. - Тюмень, 20–22 ноября 2025 г. – С. 391 – 393.

Выражаю благодарность доц. Некрасовой Т.П. (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) за консультации по вопросам агротехнологии высокобелковых культур, доц. Стахурловой А.А. (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) за совместные исследования в части амаранта.