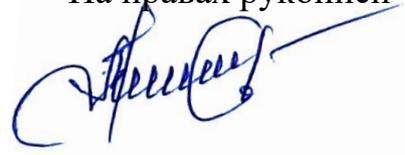


На правах рукописи



Пономарев Аркадий Сергеевич

**РАЗРАБОТКА ПОЛУФАБРИКАТОВ
ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ГОТОВНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2024

Работа выполнена кафедре технологии питания
ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Пастушкова Екатерина Владимировна (Россия),
профессор кафедры управления качеством
и экспертизы товаров и услуг
ФГБОУ ВО «Уральский государственный
экономический университет»

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Маюрникова Лариса Александровна (Россия),
профессор кафедры технологии и организации
общественного питания ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»

доктор технических наук, профессор
Артемова Елена Николаевна (Россия),
профессор кафедры технологии продуктов питания
и организации ресторанного дела
ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И. С. Тургенева»

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный
университет»

Защита диссертации состоится 20 декабря 2024 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета 24.2.425.03 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», зал диссертационных советов (ауд. 150).

Отзывы на автореферат, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ГСП-985, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», ученому секретарю диссертационного совета 24.2.425.03. Факс: (343) 283-13-25.

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

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

 Л. А. Донскова

Общая характеристика работы

Актуальность исследования. Современное развитие централизованного производства продуктов питания в России характеризуется ежегодно увеличивающимися объемами производства, высокими требованиями к качеству и безопасности продукции, а также необходимостью следовать изменению вкусов и потребностей потребителей, что ставит перед предприятиями-изготовителями задачу поиска новых форм и рецептур.

Высокий уровень конкуренции на рынке приводит к необходимости моделирования потребительских характеристик готовых изделий и прогнозирования их функционально-технологических свойств.

Одним из широко известных видов пищевых волокон являются β -глюканы. Бета-глюканы зернового сырья можно отнести к перспективным биологически активным соединениям, которые могут быть использованы для формирования функциональных свойств пищевых продуктов и целенаправленного влияния на технологический процесс. В ряде исследований подтверждены их противовоспалительные, антимикробные, иммуностимулирующие, противоопухолевые, гипохолестеринемические и гипогликемические свойства. Эти полисахариды являются структурными элементами клеточной стенки злаков, в частности овса и ячменя.

В настоящее время расширение ассортимента, наращивание производства качественной, безопасной и обогащенной пищевой продукции с целью улучшения пищевого статуса и качества жизни населения являются приоритетными задачами государственной политики, что отражено в Стратегии повышения качества продукции в Российской Федерации до 2030 г., а также Концепции государственной политики в области здорового питания населения РФ на период до 2030 г., в связи с чем разработка технологии производства мясных рубленых полуфабрикатов и хлебобулочных изделий высокой степени готовности с использованием комплексной β -глюкансодержащей добавки из зернового сырья с функционально-технологическими свойствами является актуальным направлением.

Степень изученности. Значительный вклад в научное обоснование производства обогащенных пищевых продуктов внесли следующие отечественные и зарубежные ученые: В.А. Тутельян, А.А. Кочеткова, И.М. Чернуха, И.Ф. Горлов, А.Б. Лисицын, Т.М. Гиро, О.К. Мотовилов, Л.В. Антипова, Г.В. Гуринович, И.Ю. Потороко, Е.Н. Артемова, О.В. Чугунова, В.Г. Попов, В.М. Позняковский, Л.А. Маюрникова, М.А. Янова, В.И. Шипулин, С.Л. Тихонов, Н.И. Давыденко, С.S. Brenna, L.J. Cleary, М.К. Mitsou, N. Panopoulou, E. Ostman, E. Rossi, L.T. Tong и др.

Вопросы получения и применения β -глюкана рассматривались в работах А.В. Канарского, З.А. Канарской, И.Г. Лоскутова, В.И. Полонского, В.М. Гематдиновой, И.И. Сметанской, М. Фриуи, Л. Гачеу, О. Опря,

М.М. Шамцян, М.-С. Messia, E. Naumann, S. Singh, F. Temelli, U. Tiwari, F. Zhu и др.

Однако при анализе доступных источников информации выявлено незначительное количество данных, описывающих методы получения комплексных пищевых добавок на основе β -глюканов из зернового сырья с функционально-технологическими свойствами. Кроме того, недостаточно комплексных исследований продукции высокой степени готовности в процессе производства и хранения, что свидетельствует об актуальности и обоснованности темы диссертации.

Цель исследования – разработка мясных рубленых полуфабрикатов и хлебобулочных изделий высокой степени готовности с применением комплексной β -глюкансодержащей добавки с функционально-технологическими свойствами.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие научные **задачи**:

- определить оптимальные параметры технологии получения концентратов β -глюканов из зернового сырья (отруби овсяные, ячмень);
- разработать рецептуры β -глюкансодержащей добавки из зернового сырья путем математического моделирования, исследовать функционально-технологические свойства, дать товароведную оценку, обосновать сроки годности;
- разработать рецептуры и технологии мясных рубленых полуфабрикатов и хлебобулочных изделий высокой степени готовности с использованием комплексной β -глюкансодержащей добавки, исследовать показатели качества и безопасности, обосновать сроки годности;
- обосновать использование технологии АЕФ-замораживания на основе анализа влияния режимов замораживания на физико-химические и органолептические показатели полуфабрикатов высокой степени готовности;
- обосновать параметры выпечки и замораживания тестовой заготовки хлебобулочного изделия высокой степени готовности;
- дать экономическую оценку новых продуктов, разработать техническую документацию.

Научная новизна. Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 4, 5, 13 и 29 Паспорта научной специальности 4.3.3. Пищевые системы.

1. Предложено техническое решение получения концентратов β -глюкана из ячменя и овсяных отрубей с использованием ферментализации высокомолекулярных соединений зерна, позволяющее получить концентраты β -глюкана с выходом 50–60 % (п. 4 Паспорта научной специальности 4.3.3).

2. Установлено, что полученные на основе математического моделирования оптимальные соотношения компонентов комплексной β -глюкансодержащей добавки позволяют сформировать ее функционально-технологические свойства (п. 13 Паспорта научной специальности 4.3.3).

3. Научно обосновано, что применение комплексной β -глюкансодержащей добавки в полуфабрикатах высокой степени готовности позволяет обеспечить содержание пищевых волокон, в том числе β -глюкана, 25 % от рекомендуемой нормы, а также повышение ФТС (ВУС, ЖУС, ВСС, формоустойчивость) (п. 29 Паспорта научной специальности 4.3.3).

4. Доказана эффективность использования АЕФ-замораживания в течение 35 мин при $T = (-18 \pm 2) ^\circ\text{C}$, частоте 50 Гц и интенсивности ультразвука $4,4 \cdot 10^{-4}$ Вт/м² в производстве мясных рубленых полуфабрикатов, позволяющего сохранить структурно-механические, органолептические и физико-химические свойства готового продукта (п. 5 Паспорта научной специальности 4.3.3).

Теоретическая и практическая значимость работы. *Теоретическая значимость* заключается в обосновании использования β -глюкансодержащих пищевых добавок в технологии мясных рубленых полуфабрикатов и хлебобулочных изделий высокой степени готовности для улучшения их функционально-технологических свойств.

Практическая значимость. По результатам исследования разработан пакет технической документации на комплексную зерновую добавку и ассортимент продукции общественного питания:

– ТУ и ТИ 10.61.3-112-02069214-2021 «Комплексная пищевая добавка из зернового сырья „Комби Плюс“»;

– ТУ и ТИ 10.12.10-014-02069214-2021 «Полуфабрикаты из мяса птицы мясорастительные „Уралочка“»;

– ТУ и ТИ 10.71.11.160-02-65050115-2021 «Полуфабрикаты хлебобулочные высокой степени готовности. Технические условия».

Разработана программа для ЭВМ «Компьютерная программа для подбора зерновых компонентов в смеси с повышенной пищевой ценностью» (свидетельство о государственной регистрации № 2021616072).

Разработанная методика определения органолептических показателей качества мясных рубленых полуфабрикатов внедрена на ООО «Про-Питание ВК» (г. Екатеринбург).

Проведена промышленная апробация технологических решений в компании ООО «Про-Питание ВК» (г. Екатеринбург), ООО «Фабрика здорового питания» (г. Верхняя Пышма), что подтверждается актами о промышленной апробации и заключением о внедрении.

Результаты исследования используются в учебном процессе на кафедре технологии питания ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» в рамках образовательных программ бакалавров направления подготовки 19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания».

Методология и методы исследования. Методологическую основу работы составили труды отечественных и зарубежных ученых по вопросам технологии продукции общественного питания высокой степени готовно-

сти. При решении поставленных задач применяли общепринятые и стандартные методы: анализ, синтез, обобщение, математическое моделирование, органолептические, физико-химические, микробиологические, инструментальные методы.

Положения, выносимые на защиту:

– параметры ферментолиза высокомолекулярных фракций в технологии получения добавки из ячменя и овсяных отрубей с целью выделения β -глюкана;

– состав и соотношение компонентов добавки для мясных рубленых полуфабрикатов и хлебобулочных изделий;

– параметры производства хлебобулочных изделий при двухстадийной выпечке и промежуточном замораживании;

– результаты оценки технологической пригодности разработанных β -глюкансодержащих добавок из зернового сырья в технологии мясных рубленых полуфабрикатов и хлебобулочных изделий высокой степени готовности.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные результаты исследований были представлены и обсуждены на научных мероприятиях различного уровня, прошедших в Екатеринбурге (2020, 2021, 2023, 2024), Красноярске (2021), Новосибирске (2021, 2022), Бийске (2017), Пензе (2020), Курске (2024).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе шесть статей в журналах, рекомендованных ВАК; одна статья в издании, индексируемом в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus, а также одно свидетельство о регистрации программы ЭВМ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы, включающего 155 источников отечественных и зарубежных авторов, и девяти приложений. Основное содержание изложено на 165 страницах, включает 36 рисунков и 55 таблиц.

Основное содержание работы

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость диссертации.

В **первой главе** обобщены научно-техническая информация и экспериментальные материалы отечественных и зарубежных ученых по теме диссертационного исследования.

Во **второй главе** изложены организация работы, объекты и методы исследования. Общая схема исследований представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общая схема исследований

Теоретические и экспериментальные исследования выполнены в период с 2017 по 2023 г. Исследование свойств сырья и готовых изделий, отработка образцов продукции общественного питания проводились в лабораториях кафедры технологии питания и Едином лабораторном комплексе ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет».

Объектами исследования на разных этапах выступали: концентраты β-глюкана, полученные ферментализом (ферментный препарат (ФП) Saczyme Yield) из овсяных отрубей и ячменя; β-глюкансодержащая добавка из зернового сырья (ДЗС) на основе концентратов β-глюкана и технологически обусловленных ингредиентов – подсырной молочной сыворотки, инулина или сухой пшеничной клейковины; мясные рубленые полуфабрикаты

(МРПФ) и хлебобулочные изделия (ХБИ) высокой степени готовности с включением ДЗС.

Основой разработки МРПФ послужила рецептура биточков рубленых из мяса птицы № 732, ХБИ – рецептура булочки «Дорожная» № 259 по Сборнику технических нормативов.

В **третьей главе** представлены результаты собственных исследований и их обсуждение в рамках научного обоснования технологии получения и оценки качества β -глюкансодержащей добавки.

Получение концентратов β -глюкана из овсяных отрубей и ячменя. Задачей данного этапа работы являлось получение концентратов β -глюкана из овсяных отрубей и ячменя (рисунок 2). Применен комплекс ферментов амилолитического и целлюлолитического действия, проведена оценка качества образцов концентрата.

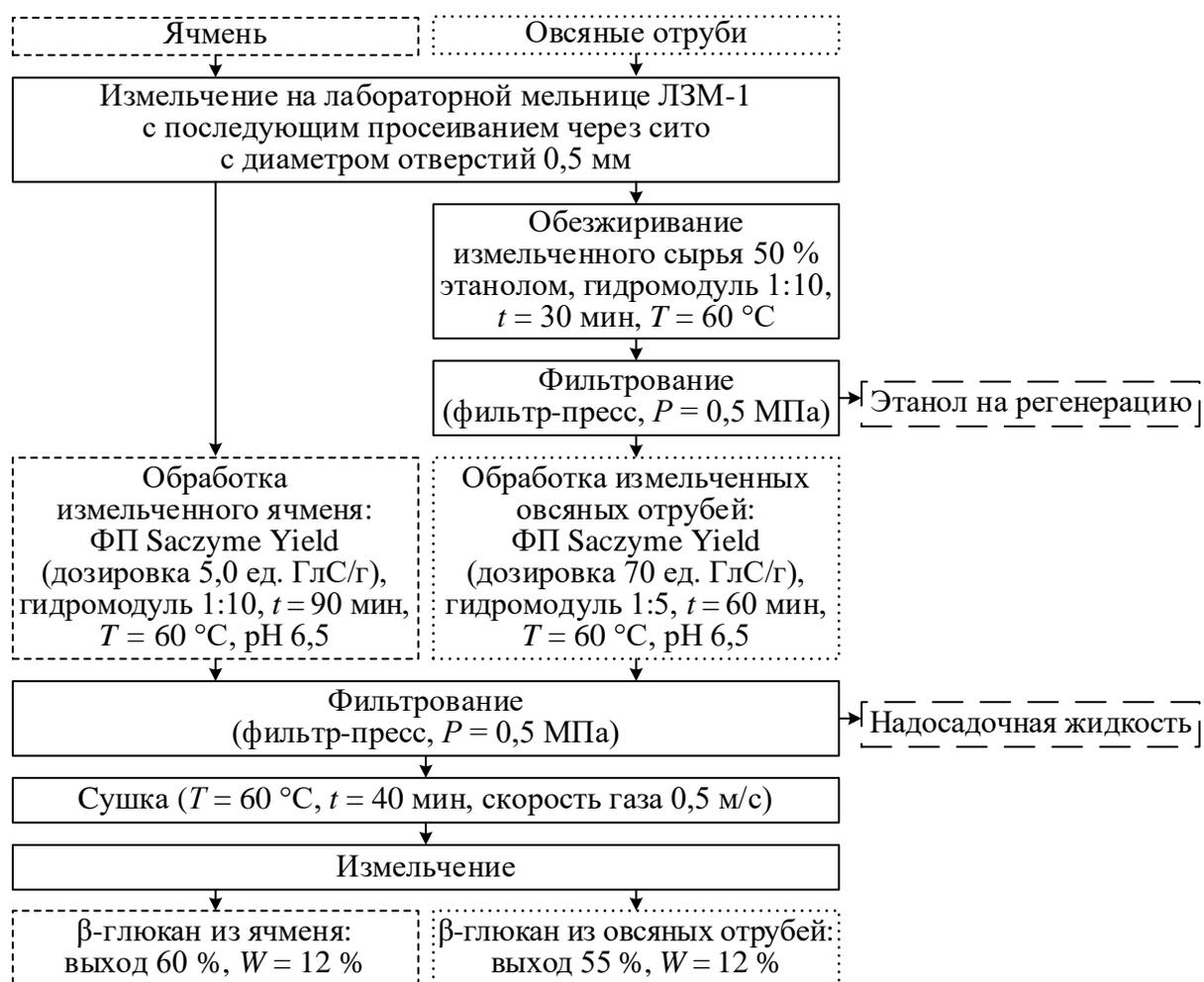


Рисунок 2 – Принципиальная схема получения концентрата β -глюкана из ячменя голозерного и овсяных отрубей

В эксперименте определена оптимальная дозировка ФП Saczyme Yield путем варьирования длительности обработки и дозировки по преоб-

ладающей глюкоамилазной (глюкан- α -1,4-глюкозидазной) активности: максимальный выход β -глюкана из ячменя наблюдался при параметрах ферментализа: длительность не менее 90 мин, дозировка Saczyme Yield не менее 80 ед. ГЛС/г, $t = 60$ °С (рисунок 3).

Установлено, что опытные образцы концентрата из овсяных отрубей (КО) содержат 52 % β -глюкана, концентрата из ячменя (КЯ) – 53 %. Показано, что под действием ФП содержание крахмала в КЯ снижается в 5 раз (таблица 1).

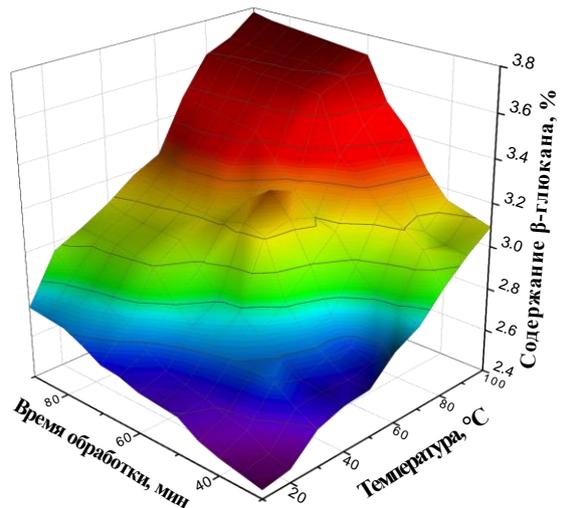


Рисунок 3 – Зависимость содержания β -глюкана от дозировки ФП Saczyme Yield и продолжительности обработки

Таблица 1 – Химический состав образцов концентрата β -глюкана ($n = 3$)

Показатель	Овсяные отруби	КО	Ячмень	КЯ
М. д. влаги, %	10,8 ± 0,2	10,9 ± 0,2	11,9 ± 0,2	9,5 ± 0,2
Клетчатка, %	10,5 ± 0,1	8,4 ± 0,1	9,5 ± 0,1	7,6 ± 0,2
Крахмал, %	44,7 ± 0,6	13,7 ± 0,8	49,6 ± 0,8	11,2 ± 0,3
В том числе амилоза	19,9 ± 0,4	9,9 ± 0,2	16,5 ± 0,2	10,4 ± 0,1
М. д. жира, %	7,9 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,8 ± 0,1	0,9 ± 0,1
М. д. белка, %	13,2 ± 0,2	11,0 ± 0,2	15,2 ± 0,1	14,3 ± 0,1
Зольность, %	2,8 ± 0,1	1,1 ± 0,1	2,4 ± 0,2	2,3 ± 0,2
Пищевые волокна, %	10,1 ± 0,2	53,5 ± 0,1	9,6 ± 0,2	54,2 ± 0,1
В том числе β -глюкан	7,4 ± 0,1	52,4 ± 0,1	8,7 ± 0,1	53,1 ± 0,1

Разработка и оценка качества комплексных β -глюкансодержащих добавок. С целью решения задачи улучшения органолептических показателей и технологических свойств, кроме полученного концентрата β -глюкана из зернового сырья, предложено использовать в рецептуре ДЗС сухую подсырную молочную сыворотку (СМ) (для формирования текстуры и аромата), инулин сухой порошкообразный (ИС) (для имитации свойств жира в МРПФ) и сухую пшеничную клейковину (ПК) (для укрепления клейковины ХБИ). Общая схема разработки ДЗС представлена на рисунке 4.

Разработка рецептов ДЗС показана на примере ХБИ. Для определения соотношения компонентов в составе ДЗС расчетным способом с использованием алгоритмов метода градиентного спуска для линейных задач, учитывающего совместное влияние компонентов на показатели качества готовых ХБИ, проводили пробную лабораторную выпечку согласно ГОСТ 27669-88 и исследовали влияние дозировки компонентов ДЗС на физико-химические показатели ХБИ из пшеничной муки.

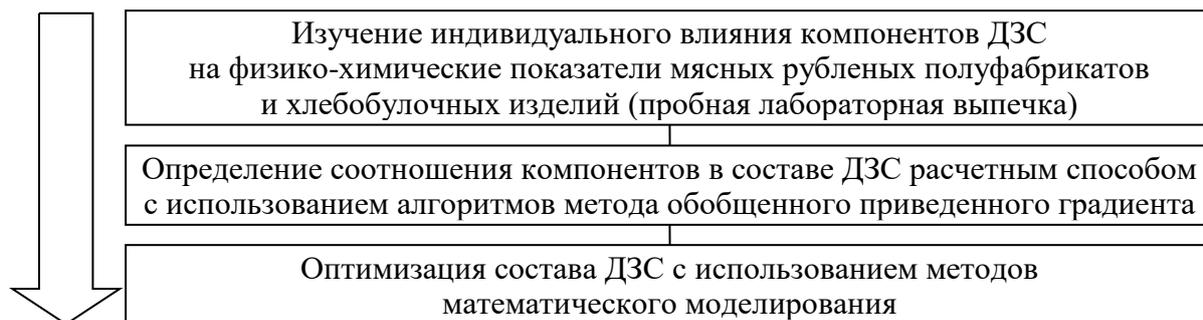


Рисунок 4 – Этапы разработки β -глюкансодержащей добавки из зернового сырья

На основании введенных ограничений (регламентированных значений показателей качества) и допустимых концентраций компонентов ДЗС построена математическая модель (X_i – концентрация компонентов в ДЗС):

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{ДЗС}} = 35,55 + 3,12X_{\text{КЯ}} + 1,45X_{\text{КО}} + 1,51X_{\text{СМ}} + 0,12X_{\text{ИС}} \rightarrow \max; \\ K_{\text{ДЗС}} = 6,22X_{\text{КЯ}} - 2,42X_{\text{КО}} + 0,65X_{\text{СМ}} + 0,35X_{\text{ИС}} < 52,3; \\ 5,0 \geq X_{\text{КЯ}} \geq 2,0; \\ 1,0 \geq X_{\text{КО}} \geq 0,2; \\ 0,4 \geq X_{\text{СМ}} \geq 0,2; \\ 10,0 \geq X_{\text{ИС}} \geq 7,0. \end{array} \right. \quad (1)$$

Получены следующие максимально возможные концентрации рецептурных компонентов ДЗС: КЯ – 6 % или КО – 9 % (z_1), СМ – 2 % (z_2), ПК – 1 % к массе мучной смеси (z_3).

В качестве критериев оптимизации были выбраны пористость (y_1 , %), выход изделия (y_2 , %) и органолептическая оценка качества (y_3 , балл) ХБИ по сравнению с контрольным образцом (таблица 2).

Таблица 2 – Значения критериев оптимизации

Образец	Пористость		Выход изделия		Органолептические показатели	
	y_1 , %	Δy_1	y_2 , %	Δy_2	y_3 , балл	Δy_3
Контроль	78,4	0,0	145	0	46	0
Образец 1	82,8	4,4	150	5	47	1
Образец 2	84,4	6,0	155	10	49	3
Образец 3	82,1	3,7	148	3	48	2

Обработку данных проводили с помощью MathCad Prime. В результате получены математические модели прироста показателей качества булочки из пшеничной муки в зависимости от дозировки компонентов ДЗС:

$$\begin{array}{l} \Delta y_1 = 6,164 - 0,365z_1 - 1,122z_2 + 3,122z_3; \\ \Delta y_2 = 5,212 - 1,566z_1 - 0,199z_2 - 1,644z_3; \\ \Delta y_3 = 1,134 - 6,362z_1 + 2,123z_2 + 1,222z_3 \end{array} \quad (2)$$

Анализ этих уравнений позволил установить оптимальное соотношение компонентов ДЗС – не более 6 % к массе муки.

Аналогично проведен подбор рецептурных компонентов для МРПФ с учетом органолептической совместимости и ФТС мясо-растительной системы (МРС). На подготовительном этапе выполнен сравнительный анализ ВСС МРС. Установлено, что внесение концентрата β -глюкана в количестве от 6 % до 10 % способствует повышению ВСС по сравнению с контрольным образцом (85,9 %) на 2,7–3,7 % (рисунок 5).

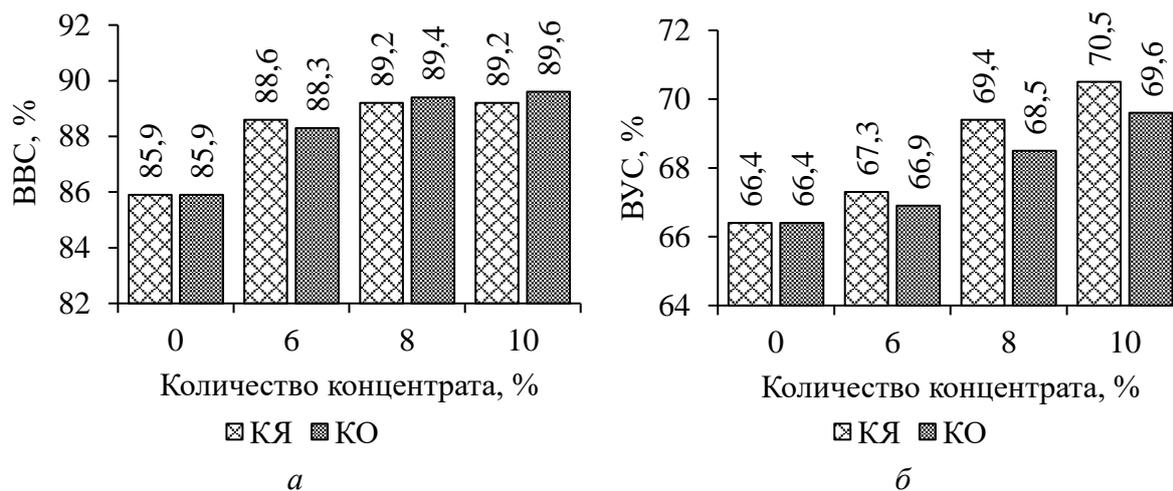


Рисунок 5 – Изменение ВСС (а) и ВУС (б) МРС в зависимости от количества вносимого концентрата β -глюкана

Изучено влияние ДЗС на прочность МРС; установлено, что прочность возрастает с увеличением количества вносимой ДЗС, при внесении 8 % – в среднем в 1,4 раза, что положительно сказывается на технологическом этапе формирования в производстве кулинарных изделий (рисунок 6).

Установлено, что ДЗС способствует повышению гидрофильности, оказывает положительное влияние на образование трехмерной структурной сетки МРС, удерживающей влагу и жировые частицы готового изделия, за счет высокого содержания β -глюкана, а следовательно, препятствует выделению мясного сока.

С помощью математического моделирования разработаны рецептуры β -глюкансодержащей пищевой добавки «Комби плюс» (таблица 3).

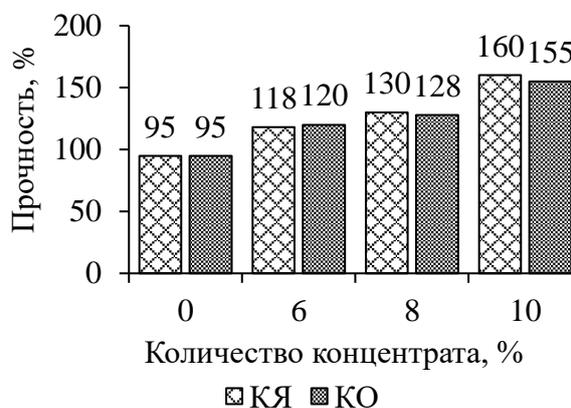


Рисунок 6 – Зависимость прочности МРС от количества вносимого концентрата β -глюкана

Таблица 3 – Рецепттура ДЗС «Комби плюс»

Наименование сырья	Масса сырья, г		
	для МРПФ		для ХБИ
	ДЗС-1	ДЗС-2	ДЗС-3
Концентрат β -глюкана из ячменя	–	858,6	435,6
Концентрат β -глюкана из овса	858,7	–	435,6
Сухая подсырная молочная сыворотка	160,0	160,0	149,4
Инулин сухой порошкообразный	43,2	43,2	–
Сухая пшеничная клейковина	–	–	44,5
Технологические потери (0,06 %)	61,9	61,8	65,1

Товароведная оценка качества β -глюкансодержащей добавки из зернового сырья. На следующем этапе дана характеристика органолептических и физико-химических показателей ДЗС (таблица 4).

Таблица 4 – Показатели качества ДЗС «Комби плюс»

Показатель	Характеристика (значение)		
	для МРПФ		для ХБИ
	ДЗС-1	ДЗС-2	ДЗС-3
Внешний вид	Однородная тонкоизмельченная масса без посторонних включений, с наличием отдельных легко рассыпающихся комочков		
Цвет	Светло-желтый	Светло-желтый с оттенком серого	От светло-желтого до желтого
Запах	Слабовыраженный молочно-ячменный	Слабовыраженный молочно-овсяный	Слабовыраженный зерновой
М. д. влаги, %	12,3 ± 0,8	11,3 ± 0,4	12,1 ± 0,6
М. д. белка, %	11,5 ± 0,4	12,3 ± 0,3	11,8 ± 0,5
М. д. жира, %	2,1 ± 0,1	5,3 ± 0,1	3,8 ± 0,1
Пищевые волокна, %	50,5 ± 0,2	46,6 ± 0,5	48,8 ± 0,2
В том числе β -глюкан	49,2 ± 0,4	45,4 ± 0,2	48,0 ± 0,1
Размер частиц, мкм	180–210	180–210	180–210
Насыпная плотность, кг/м ³	550–580	550–600	550–600

Полученные данные подтверждают потенциал использования данной ДЗС для повышения содержания пищевых волокон, в том числе β -глюкана, а также прогнозирования повышения ФТС (ВУС, ЖУС, ВСС, формоустойчивость) в продукции общественного питания.

На основе изменения физико-химических и микробиологических показателей установлены регламентируемые показатели (внешний вид – однородная тонкоизмельченная масса без посторонних включений, с наличием отдельных легко рассыпающихся комочков, цвет светло-желтый с оттенком серого, запах слабовыраженный зерновой, м. д. влаги не более 13,5 %, м. д.

пищевых волокон не менее 50 %, размер частиц 180–210 мкм, насыпная плотность 550–600 кг/м³) и сроки хранения ДЗС-1 для МРПФ – 9 мес., ДЗС-2 для МРПФ и ДЗС-3 для ХБИ – 12 мес. при $T = (18 \pm 2) ^\circ\text{C}$ и относительной влажности не выше 75 %. Разработаны ТУ и ТИ, технология производства внедрена на ООО «Фабрика здорового питания» (г. Екатеринбург).

В четвертой главе разработаны рецептуры и технологии продукции общественного питания высокой степени готовности с добавлением ДЗС: мясные рубленые полуфабрикаты и хлебобулочные изделия отложенной выпечки. Обосновано применение технологии АЕФ-замораживания для продукции общественного питания и технология отложенной выпечки для ХБИ.

Разработка МРПФ высокой степени готовности с использованием β -глюкансодержащей добавки из зернового сырья. Основные направления развития ассортимента МРПФ высокой степени готовности связаны со спросом на кулинарную продукцию, обладающую пролонгированными сроками хранения и повышенной пищевой ценностью. Внесение в мясную систему сырья растительного происхождения можно рассматривать как один из способов получения высококачественных мясных продуктов с регулируемыми свойствами за счет повышенного содержания некрахмальных полисахаридов и белков, образующих вязкие коллоидные растворы, что улучшает ФТС МРС, а именно ВУС, ЖУС и формоустойчивость.

Технологическая схема МРПФ включает следующие этапы: в куттер вносят ДЗС (соотношение с водой 1:3) и перемешивают в течение 2 мин с добавлением воды до получения однородной массы, затем вносят МРС и перемешивают еще 5 мин. Формируют изделия массой 114 г (на выход 100 г). Термическую обработку осуществляют в два этапа: на первом МРПФ обжаривают с каждой стороны в течение 7 мин, на втором этапе – доводят до кулинарной готовности в пароконвектомате при $T = (200 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и $W = 10 \%$ в течение 12 мин. На следующем этапе охлаждают в шкафу шокового замораживания до достижения $T = 0-4 ^\circ\text{C}$ в центре продукта, скорость воздуха 1 м/с. Охлажденные МРПФ расфасовывают в потребительскую упаковку и подвергают АЕФ-замораживанию в течение 18 мин до $T = -18 ^\circ\text{C}$ в центре продукта.

Анализ значений ВСС показал, что внесение пищевой добавки в количестве 8 % способствует увеличению данного показателя на 6 % в ДЗС-1 и на 7,7 % в ДЗС-2 в сравнении с контролем (85,9 %).

Результаты исследования ВУС и ЖУС в МРПФ показали, что внесение ДЗС положительно влияет на образование трехмерной структурной сетки, удерживающей влагу и жировые частицы готового изделия, обусловленной повышенным содержанием β -глюкана. Установлено, что внесение ДЗС-1 увеличивает ВУС на 3,03 %, а ДЗС-2 – на 2,12 %, что обеспечивает способность системы удерживать влагу при термической обработке и снижение потерь при тепловой обработке (таблица 5).

Таблица 5 – Химический состав и ФТС МРПФ в зависимости от ДЗС ($n = 3$), %

Показатель	Контроль	Опытные образцы МРПФ с ДЗС 8 %	
		ДЗС-1	ДЗС-2
М. д. влаги	65,40 ± 2,53	65,05 ± 3,46	65,15 ± 3,62
М. д. белка	13,30 ± 0,10	13,90 ± 0,10	13,70 ± 0,10
М. д. жира	23,40 ± 0,14	22,60 ± 0,15	22,10 ± 0,15
β-глюкан	–	2,60 ± 0,02	2,80 ± 0,03
М. д. золы	3,78 ± 0,25	2,89 ± 0,15	2,98 ± 0,09
Стабильность	76,10 ± 3,28	88,60 ± 4,08	89,10 ± 3,85
ВУС	66,40 ± 3,28	69,43 ± 4,19	68,52 ± 3,95
ЖУС	67,52 ± 4,21	74,68 ± 5,12	75,15 ± 4,56
Потеря массы при тепловой обработке	21,92 ± 0,25	16,84 ± 0,15	17,14 ± 0,18

Использование ДЗС в модельных МРПФ способствует увеличению ВУС, ЖУС, содержания β-глюкана, а также положительно влияет на технологические (формоустойчивость, ВУС) и органолептические (сочность, мягкость, вкус и запах) свойства, способствует снижению калорийности изделия. При употреблении 100 г готовой продукции суточная потребность в пищевых волокнах, в том числе β-глюкане, удовлетворяется на 13–14 % от рекомендуемой (согласно ТР ТС 021 для обогащенной продукции – не менее 5 % уровня суточного потребления в порции).

Исследование содержания незаменимых аминокислот (НАК) в образцах по отношению к эталону ФАО/ВОЗ (рисунок 7) выявило, что сумма НАК как в контрольном, так и в опытных образцах превышала значения ФАО/ВОЗ в среднем на 4,9 г на 100 г белка. В опытных образцах содержание НАК выше на 2,38 % и 2,34 % по сравнению с контролем.

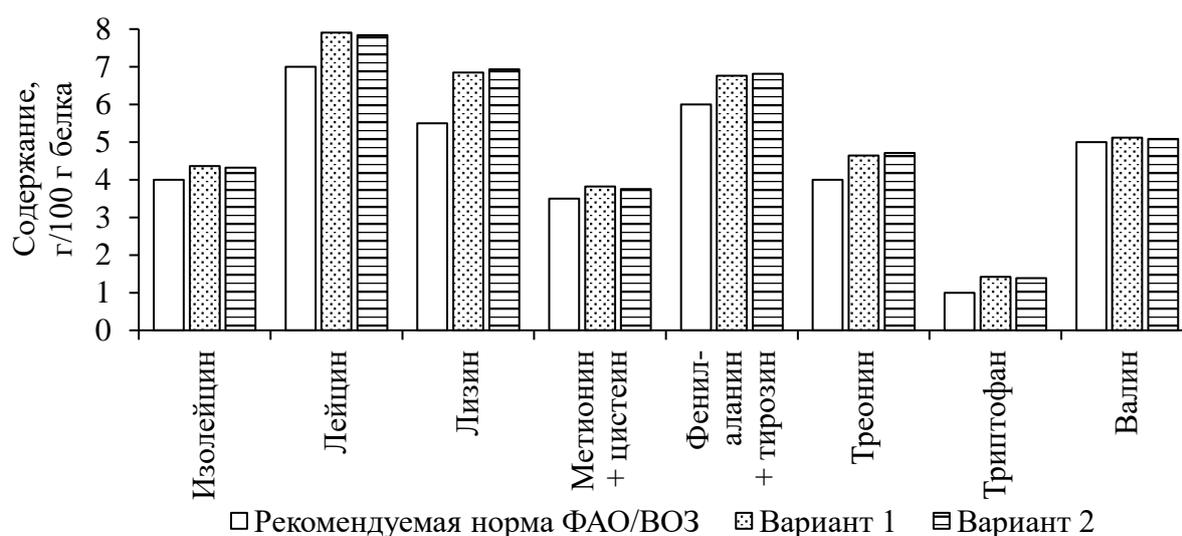


Рисунок 7 – Аминокислотный состав белка МРПФ в сравнении с рекомендуемыми нормами ФАО/ВОЗ

На основе сравнительного анализа показателей жирнокислотного состава МРС с формулой «идеального липида» установлено увеличение содержания линолевой (1,62 и 1,65) и линоленовой кислот (0,12 и 0,15), а также коэффициента биологической ценности 0,77 и 0,83.

На следующем этапе исследований изучены способы замораживания МРПФ:

- конвективное: $T = (-18 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$, скорость движения воздуха 1,5 м/с;
- шоковое: $T = (-32 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$, скорость движения воздуха 4 м/с (с применением аппарата шоковой заморозки);
- АЕФ, которое представляет собой совместное воздействие низких температур $(-18 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ и акустических волн (частота 50 Гц, интенсивность ультразвука $4,4 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/м}^2$).

Оценка органолептических показателей МРПФ проведена с помощью разработанной балльной шкалы (рисунок 8).

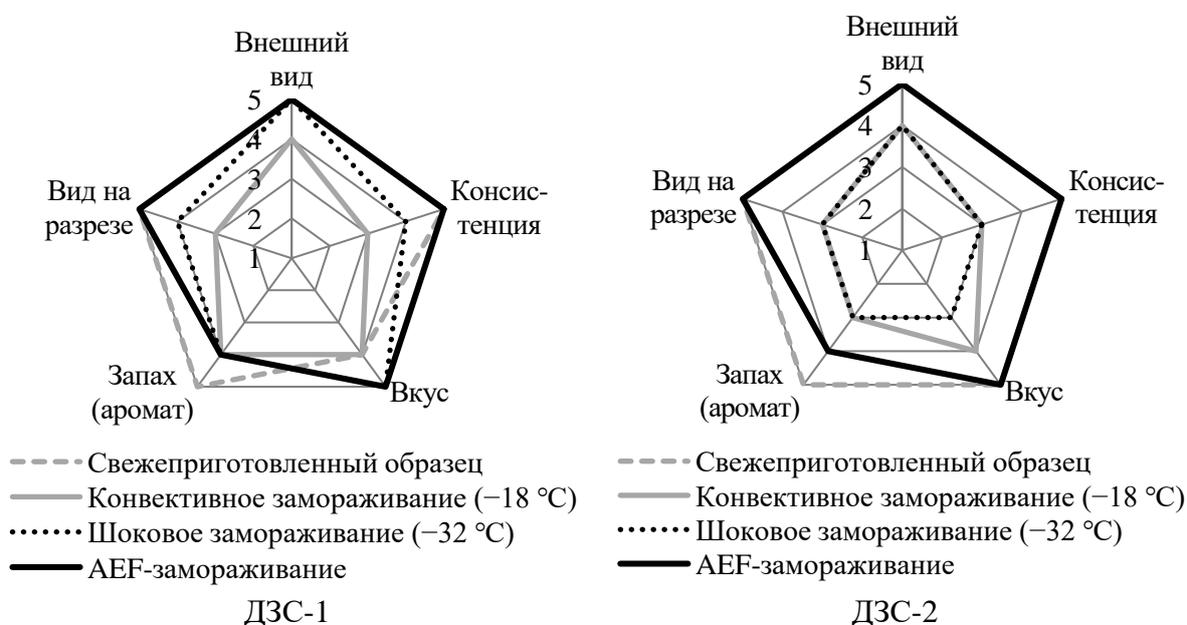


Рисунок 8 – Органолептические показатели опытных образцов МРПФ после тепловой обработки, балл

Установлено, что АЕФ-замораживание положительно влияет на органолептические показатели (изделия характеризуются сочностью, нежной консистенцией; приятным, выраженным мясным вкусом и запахом), способствует равномерному формированию микрокристаллов льда и препятствует образованию крупных кристаллов льда на поверхности (таблица 6).

Замороженные полуфабрикаты хранили при $T = -18 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 4 мес. (из расчета заданный срок хранения – 3 мес. и дополнительно 1 мес. с учетом коэффициента резерва 1,2).

Таблица 6 – Влияние различных способов замораживания на ФТС МРПФ в зависимости от ДЗС ($n = 3$)

Образец	Свежеприготовленный образец	Конвективное замораживание	Шоковое замораживание	АЕФ-замораживание
ВУС, %				
Контроль	66,40 ± 3,28	62,80 ± 1,50	65,10 ± 2,45	66,20 ± 2,12
ДЗС-1	69,43 ± 4,19	66,35 ± 2,75	67,40 ± 1,10	69,35 ± 1,25
ДЗС-2	68,52 ± 3,95	68,52 ± 1,75	66,35 ± 2,20	68,10 ± 1,75
ЖУС, %				
Контроль	67,52 ± 4,21	65,85 ± 2,15	67,52 ± 2,10	67,52 ± 1,95
ДЗС-1	74,68 ± 5,12	70,25 ± 2,10	72,40 ± 2,34	72,75 ± 1,85
ДЗС-2	75,15 ± 4,56	73,24 ± 2,36	74,15 ± 2,25	75,05 ± 2,50

На основе результатов органолептических и микробиологических исследований, определения кислотного и перекисного числа (таблица 7) установлено, что срок хранения МРПФ с ДЗС для предприятий общественного питания составляет 3 мес. при $T = -18$ °С.

Таблица 7 – Динамика микробиологических показателей МРПФ при хранении ($n = 3$)

Показатель	ДУ (индекс 5.6.10)	Продолжительность хранения, мес.					
		0	1	2	3	4	
КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более $1 \cdot 10^6$	$5,2 \cdot 10^4$	$4,82 \cdot 10^4$	$4,70 \cdot 10^4$	$4,63 \cdot 10^4$	$3,98 \cdot 10^1$	
Масса продукта, г, в которой не допускаются	БГКП (колиформы), КОЕ/г	0,01	Не обнаружены				
	<i>S. aureus</i>	0,1	Не обнаружены				
	Плесени, КОЕ/г	Не более 250	Не обнаружены				
Кислотное число, мг КОН/г		2,21	2,35	2,56	3,07	3,41	
Перекисное число, ммоль активного O_2 /кг		0	1,3	2,9	3,7	4,5	

Влияние β -глюкансодержащей добавки из зернового сырья на качество хлебобулочных изделий. При изучении показателей качества ХБИ, приготовленных с использованием ДЗС, тесто готовили безопасным способом при влажности 44 % и начальной температуре 28–30 °С.

Установлено, что ХБИ имели равномерный цвет корок, образцы с дозировкой ДЗС 3 % и 6 % имели лучшие органолептические показатели: мякиш был более эластичным, с хорошо развитой и равномерной пористостью. У образца с содержанием ДЗС 9 % цвет мякиша был более темным по сравнению с контролем, где он имел белый цвет; вкус свойственный хлебу с выжаренным зерновым привкусом.

Выявлено, что внесение в рецептуру ДЗС повышает общую и пластичную деформацию мякиша по сравнению с контролем в среднем на 5,3 % и 47,4 % соответственно (таблица 8).

Таблица 8 – Физико-механические свойства мякиша готовых ХБИ, выпекавшихся при $T = (185 \pm 5) ^\circ\text{C}$

Количество ДЗС, %	Значение физико-механических свойств мякиша, ед. прибора		
	$\Delta H_{\text{общ}}$	$\Delta H_{\text{пл}}$	$\Delta H_{\text{упр}}$
0 (контроль)	$15,1 \pm 0,1$	$7,6 \pm 0,2$	$7,8 \pm 0,2$
3	$15,2 \pm 0,2$	$8,0 \pm 0,2$	$7,2 \pm 0,1$
6	$15,4 \pm 0,1$	$9,1 \pm 0,3$	$6,8 \pm 0,2$
9	$15,9 \pm 0,2$	$11,2 \pm 1,3$	$4,1 \pm 0,2$

Для опытных образцов ХБИ характерно наличие развитой тонкостенной пористости, обеспечивающей большее сжатие мякиша в эксперименте; данный факт подтверждается результатами органолептической оценки.

Внесение ДЗС способствует увеличению общей и пластической деформации опытных образцов по сравнению с контролем, упругая деформация при этом снижается. Это связано с тем, что внесение ДЗС повышает бродительную активность теста и, соответственно, пористость готовых изделий, а увеличение размера и количества пор способствует увеличению общей и пластической деформации и снижению упругой деформации ХБИ.

Исследование физико-химических показателей (таблица 9) выявило, что в образцах с ДЗС содержание пищевых волокон составляет 25–30 % от суточной потребности взрослого человека. Содержание β -глюкана – 0,8 %, или 26 % от суточной потребности (рекомендуемая норма – 3 г).

Таблица 9 – Физико-химические показатели ХБИ ($n = 3$)

Показатель	Контроль	Опытный образец ХБИ с ДЗС 6 %
Влажность, %	$40,0 \pm 0,5$	$39,5 \pm 0,3$
Кислотность, град	$1,4 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$
М. д. сахара, %	$3,8 \pm 0,1$	$4,2 \pm 0,1$
М. д. жира, %	$1,9 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,1$
Пищевые волокна, %	$4,1 \pm 0,05$	$5,2 \pm 0,05$
В том числе β -глюкан	$0,2 \pm 0,02$	$0,8 \pm 0,03$

Разработка технологии ХБИ отложенной выпечки. Для обеспечения свежести ХБИ в местах реализации предложена технология их отложенной выпечки. При этом ДЗС в рецептурах позволит отказаться от использования улучшителей, направленных на формирование стабильных свойств при брожении, замораживании, размораживании, выпекании булочных изделий.

В рамках исследования применяли технологию полувывпеченных изделий до образования мякиша (90 % готовности). Анализ динамики температуры внутренних и поверхностных слоев (рисунок 9, а) показал, что процесс выпечки тестовой заготовки состоит из трех этапов. На первом этапе (0–5 мин) изменение температуры центральных слоев изделия практически не наблюдается. Второй этап (5–14 мин) характеризуется стремительным

возрастанием температуры в центральной части изделия. На третьем этапе (14–17 мин) происходит пропекание мякиша; этот этап характеризуется достижением относительно постоянной температуры, что свидетельствует об образовании мякиша.

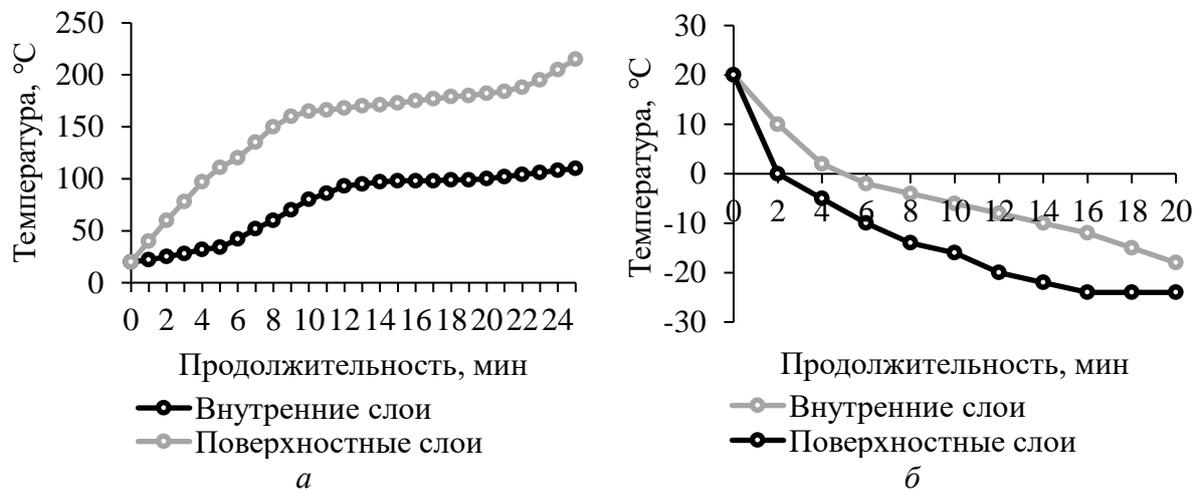


Рисунок 9 – Изменение температуры внутренних и поверхностных слоев тестовой заготовки высокой степени готовности при выпечке (а) и замораживании (б)

Установлено, что общая продолжительность выпечки составляет 20–25 мин. Время выпечки тестовой заготовки высокой степени готовности – 17–18 мин.

Экспериментальным путем определено время, необходимое для достижения $T = -18\text{ °C}$ в толще разработанных ХБИ (рисунок 9, б).

ХБИ размораживали при $T = 2\text{ °C}$ в течение 2 ч, затем выпекали в пароконвектомате 5 мин при $T = 180\text{ °C}$. Оценку качества проводили в сравнении с контролем, не подвергшимся замораживанию (таблица 10).

Таблица 10 – Физико-химические показатели качества ХБИ

Показатель	Контроль	Опытный образец
Влажность мякиша, %	$39,5 \pm 0,2$	$38,3 \pm 0,2$
Формоустойчивость	$0,60 \pm 0,01$	$0,66 \pm 0,02$
Удельный объем, см ³ /г	$3,5 \pm 0,2$	$3,3 \pm 0,1$
Кислотность, град	$1,6 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,1$

Показано, что экспериментальный образец по физико-химическим показателям не уступает контролю.

На основе проведенных исследований установлены регламентируемые показатели качества и разработана техническая документация (ТУ, ТИ), производство ХБИ внедрено на ООО «Про-Питание ВК». Согласно расчетам, разработанная технология ДЗС удорожает существующее производство МРПФ на 7 %, ХБИ – 10 %.

Заключение

В ходе диссертационного исследования разработана β -глюкансодержащая пищевая добавка из зернового сырья с функционально-технологическими свойствами и дана оценка эффективности ее применения в производстве обогащенной продукции общественного питания высокой степени готовности.

Определены оптимальные параметры технологии извлечения β -глюкана из зернового сырья. Максимальный выход β -глюкана из ячменя (52,2 %) наблюдается при следующих параметрах ферментализации: продолжительность процесса 90 мин, дозировка ФП SaczymeYield – 80 ед. ГлС/г, $t = 60$ °С, гидромодуль 1:5; из овсяных отрубей (58,4 %) – продолжительность процесса 60 мин, дозировка 70 ед. ГлС/г, $T = 60$ °С, гидромодуль 1:10.

С помощью математического моделирования произведен подбор компонентов ДЗС, учитывающий особенности выбранных видов полуфабрикатов высокой степени готовности, а также органолептические, технологические и реологические свойства готовой продукции. Обоснована необходимость внесения дополнительных технологически обусловленных ингредиентов (инулин, подсырная молочная сыворотка, сухая пшеничная клейковина), что позволило снизить м. д. жира на 4,85 %, повысить ВСС на 6,4 % и ЖУС на 7,63 % в МРПФ в сравнении с контролем. Установлено, что оптимальная дозировка ДЗС в рецептуре МРПФ – 8 %, ХБИ – 6 %. Проведена товароведная оценка и научно обоснованы сроки хранения разработанных добавок: ДЗС-1 для МРПФ – 9 мес., ДЗС-2 МРПФ и ДЗС-3 для ХБИ – 12 мес. при $T = (18 \pm 2)$ °С и ϕ не выше 75 %.

Разработаны и апробированы в производственных условиях рецептуры и технологии мясных рубленых полуфабрикатов и хлебобулочных изделий высокой степени готовности с использованием ДЗС. Использование ДЗС в МРПФ положительно влияет на технологические (формоустойчивость, ВУС) и органолептические (сочность, мягкость, вкус и запах) свойства. При употреблении 100 г готовой продукции суточная потребность в пищевых волокнах, в том числе β -глюкане удовлетворяется на 13–14 % от рекомендуемой. Использование ДЗС в ХБИ позволяет увеличить содержание пищевых волокон (25–30 % от суточной потребности взрослого человека). Содержание β -глюкана составляет 0,8 %, или 26 % от суточной потребности (рекомендуемая норма – 3 г).

По результатам исследования влияния режимов замораживания на органолептические, физико-химические и микроструктурных исследований научно обоснована перспективность использования технологии АЕФ-замораживания в производстве продукции общественного питания высокой степени готовности. Применение АЕФ-замораживания в сравнении с шоковым замораживанием снижает потери массы в МРПФ после тепловой обработки в 2,5–3,0 раза, сокращает время замораживания на 25 %, способствует бе-

режнему хранению продукта, обусловленному формированием мелких кристаллов льда.

На основе анализа зависимости изменения температуры внутренних слоев выпекаемой тестовой заготовки от продолжительности при двухстадийной выпечке хлебобулочных изделий, влияния технологии производства на технологические свойства и продолжительность процесса приготовления теста на органолептические, структурно-механические и физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий, обосновано применение технологии отложенной выпечки.

Проведены апробация и внедрение результатов исследования в условиях производства на ООО «Про-Питание ВК» и ООО «Фабрика здорового питания». Разработаны и утверждены комплекты технической документации на новые виды продукции с использованием ДЗС. Согласно расчетам, разработанная технология ДЗС удорожает существующее производство МРПФ на 7 %, ХБИ – 10 %.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Публикации в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования

1. Chugunova, O. Innovative technologies for the production of semi-finished meat products as a factor in the development of the consumer market / O. Chugunova, **A. Ponomarev**, L. Kokoreva, O. Feofilaktova. – DOI 10.1051/shsconf/20219304016 // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 93. – Art. 04016.

Статьи в журналах, входящих в базу данных RSCI

2. Чугунова, О.В. Ферментативное получение концентратов β -глюканов из вторичных пищевых ресурсов / О.В. Чугунова, Е.В. Пастушкова, **А.С. Пономарев** [и др.]. – DOI 10.36718/1819-4036-2023-8-184-193 // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 8 (197). – С. 184–193.

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

3. Школьникова, М.Н. Применение концентратов β -глюканов из различных сырьевых источников в качестве пищевых добавок. Обзор / М.Н. Школьникова, **А.С. Пономарев**. – DOI 10.46548/21vek-2021-1054-0020 // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т. 10, № 2. – С. 109–112.

4. **Ponomarev, A.S.** Use of food ingredients of plant origin in the chopped meat semi-finished products technology / A.S. Ponomarev, E.V. Pastushkova, O.V. Chugunova. – DOI 10.29141/2500-1922-2021-6-3-12 // Индустрия питания. – 2021. – Т. 6, № 3. – С. 109–119.

5. **Пономарев, А.С.** Разработка органолептической балльной шкалы для оценки качества мясных полуфабрикатов / А.С. Пономарев, Е.В. Пастушкова, О.В. Чугунова. – DOI 10.14529/food210410 // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2021. – Т. 9, № 4. – С. 90–99.

6. Пастушкова, Е.В. Влияние комплексной зерновой добавки на качество хлебобулочных изделий / Е.В. Пастушкова, **А.С. Пономарев**, Н.А. Панкратьева, С.В. Шихалев. – DOI 10.29141/2500-1922-2021-6-4-3 // Индустрия питания. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 26–38.

7. Чугунова, О.В. Направления использования зернового сырья в производстве продуктов общественного питания / О.В. Чугунова, **А.С. Пономарев**, Е.В. Пастушкова. – DOI 10.24412/2311-6447-2022-4-45-52 // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2022. – № 4. – С. 45–52.

Статьи и материалы в прочих изданиях

8. **Пономарев, А.С.** Влияние бета-глюкана на реологические свойства теста / А.С. Пономарев, О.В. Чугунова // Технологии и продукты здорового питания : сб. ст. XII Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Саратов, 17–18 дек. 2020 г.). – Саратов : СГАУ, 2021. – С. 553–557.

9. **Пономарев, А.С.** Формирование качества мясных полуфабрикатов / А.С. Пономарев // Конкурентоспособность территорий : материалы XXIV Всерос. экон. форума молодых ученых и студентов (Екатеринбург, 27–30 апр. 2021 г.) : в 4 ч. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2021. – Ч. 3. – С. 82–85.

10. Пастушкова, Е.В. Структурно-механические и термодинамические свойства мясорастительных пищевых систем / Е.В. Пастушкова, **А.С. Пономарев** // e-FORUM. – 2021. – Т. 5, № 4 (17). – URL: <http://eforum.usue.ru/ru/home-ru?id=335>.

11. **Пономарев, А.С.** Применение методов математического моделирования для разработки хлебобулочных изделий / А.С. Пономарев, П.А. Чугунов // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 45. – С. 117–124.

12. **Пономарев, А.С.** Анализ конъюнктуры рынка продуктов из мяса птицы / А.С. Пономарев // Проспект свободный – 2021 : материалы XVII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Красноярск, 19–24 апр. 2021 г.). – Красноярск : СФУ, 2021. – С. 118–121.

13. **Пономарев, А.С.** Обоснование применения нетрадиционных видов сырья в полуфабрикатах высокой степени готовности / А.С. Пономарев, Ю.Н. Багмут // Научное обозрение. Международный научно-практический журнал. – 2022. – № 4. – URL: <https://srjournal.ru/2022/id377>.

14. Пастушкова, Е.В. Совершенствование ассортимента мясных рубленых полуфабрикатов высокой степени готовности / Е.В. Пастушкова, **А.С. Пономарев** // Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований : материалы LI Междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 25 мая 2022 г.). – Новосибирск : СибАК, 2022. – С. 82–95.

15. Пастушкова, Е.В. Ферментативное получение концентрата β -глюкана из ячменной муки / Е.В. Пастушкова, **А.С. Пономарев** // *Промышленность и сельское хозяйство*. – 2022. – № 12 (53). – С. 18–25.

16. Пастушкова, Е.В. Инновации, применяемые в системе общественного питания / Е.В. Пастушкова, **А.С. Пономарев** // *Промышленность и сельское хозяйство*. – 2023. – № 2 (55). – С. 15–19.

17. **Пономарев, А.С.** Методика исследования эффективности хлебобулочных изделий и мясных рубленых полуфабрикатов с бетта-глюканом / А.С. Пономарев, Е.В. Пастушкова // *Уральский научный вестник*. – 2023. – Т. 10, № 3. – С. 105–109.

18. **Пономарев, А.С.** Применение математического моделирования в разработке пищевой комплексной добавки / А.С. Пономарев, Е.В. Пастушкова // *Молодежь и системная модернизация страны : сб. науч. ст. 8-й Междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых (16–17 мая 2024 г.) : в 4 т. – Курск : Университетская книга, 2024. – Т. 3. – С. 394–396.*

19. **Пономарев, А.С.** Способ получения β -глюкана из ячменя / А.С. Пономарев, Е.В. Пастушкова // *Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 23 апр. 2024 г.)*. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2024. – С. 32–37.

Свидетельства и патенты

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616072 Российская Федерация. Компьютерная программа для подбора зерновых компонентов в смеси с повышенной пищевой ценностью : № 2021614970 : заявл. 07.04.2021 : опубл. 15.04.2021 / **А.С. Пономарев**, А.В. Арисов, Д.В. Гращенков, О.В. Чугунова.

Список сокращений и условных обозначений

ВСС – влагосвязывающая способность.

ВУС – влагоудерживающая способность.

ДЗС – β -глюкансодержащая пищевая добавка из зернового сырья.

ЖУС – жирудерживающая способность.

ИС – инулин сухой порошкообразный.

КО – концентрат β -глюкана из овсяных отрубей.

КЯ – концентрат β -глюкана из ячменя.

МРПФ – мясные рубленые полуфабрикаты.

МРС – мясо-растительная система.

ПК – сухая пшеничная клейковина.

ФП – ферментный препарат.

ФТС – функционально-технологические свойства.

ХБИ – хлебобулочные изделия.

Подписано в печать 18.10.2024.
Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать плоская.
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ

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