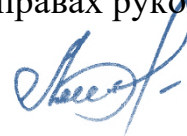


На правах рукописи



**Лесникова Наталия Александровна**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЗЕРНОВЫХ РЕСУРСОВ  
В ТЕХНОЛОГИИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ  
И МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2024

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

**Научный руководитель:** доктор технических наук, доцент  
**Котова Татьяна Вячеславовна** (Россия),  
ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Технологии инновационного развития» ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, доцент  
**Давыденко Наталия Ивановна** (Россия),  
заведующий кафедрой технологии и организации общественного питания ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

кандидат технических наук, доцент  
**Козубаева Людмила Алексеевна** (Россия),  
доцент кафедры технологии хранения и переработки зерна ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится 5 апреля 2024 г. в 10:00 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).

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>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент



Л. А. Донскова

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы исследования.** Питание – важнейшая физиологическая потребность человеческого организма, имеющая особое значение для здоровья. В связи с этим существующая проблема несбалансированного питания, типичная не только для нашей страны, но и многих других стран мира, делает актуальными разработку и внедрение в производство продуктов, содержащих широкий спектр биологически активных соединений, способных поддерживать здоровье и активный образ жизни населения.

Первостепенная роль среди факторов питания отводится полноценному и регулярному снабжению организма белками, пищевыми волокнами, минеральными веществами, витаминами, что важно не только для поддержания здоровья и работоспособности человека, но и для его активного долголетия. Это обуславливает необходимость обогащения продуктов питания, в том числе хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, эссенциальными нутриентами. Одним из основных источников биологически активных веществ является растительное сырье, которое воспроизводится ежегодно в достаточных объемах. Использование натуральных растительных добавок оказывает определяющее влияние на тенденции хлебопекарного и кондитерского производства, так как современный потребитель ориентирован на «здоровые» продукты, что, среди прочего, связано с популярностью теории адекватного питания.

В современном мире приобретает актуальность концепция малоотходного производства, основанная на максимальном вовлечении всех сырьевых ресурсов. В большинстве случаев технологические процессы в перерабатывающей промышленности порождают большое количество отходов. При переработке зерна образующиеся остатки, такие как зародыши, отруби, лузга, мучка, рассматриваются как ценные вторичные сырьевые ресурсы. Эти материалы в основном используются в качестве кормовых компонентов, всего 15 % общего объема отрубей и зародышей применяются в производстве хлебобулочных и кондитерских изделий, а также в производстве продуктов питания лечебного и профилактического назначения.

Особенно ценными в пищевом отношении являются зародыши пшеницы, в состав которых входят макро- и микронутриенты в естественной форме, положительно влияющие на здоровье человека и обладающие целебными свойствами. В связи с вышеизложенным использование вторичных зерновых ресурсов повышенной пищевой ценности в рецептурах хлебобулочных и мучных кондитерских изделий можно обоснованно считать актуальным, что подтверждается рядом программ обеспечения населения продуктами для здорового питания на государственном уровне – Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. и др.

**Степень разработанности проблемы.** Весомый вклад в научное развитие биохимических основ производства хлебобулочных изделий внесли известные ученые Л. Я. Ауэрман, Е. Д. Казакова, Н. П. Козьмина, Л. И. Пучкова, А. С. Романов, Т. Б. Цыганова и др. Исследования российских авторов Н. А. Березиной, В. А. Буховец, Г. А. Губаненко, Н. И. Давыденко, Н. В. Заворохиной, Л. А. Козубаевой, С. Я. Корячкиной, А. С. Маркова, В. М. Позняковского, И. Ю. Потороко, И. Ю. Резниченко, М. К. Садыговой, В. Б. Спиричева, Н. Б. Трофимовой, Р. А. Фёдоровой, В. Я. Черных, О. В. Чугуновой, Л. Н. Шатнюк, а также зарубежных ученых P. Allsopp, U. Gawlik-Dziki, C. Graca, S. Plazzotta, M. A. Saccotelli, D. M. Salazar и др. развивают знания в области технологии производства и формирования качества обогащенных хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. Вопросами использования зародышей пшеницы в технологии пищевых систем занимались Т. В. Алексеева, А. Б. Вишняков, Н. С. Родионова, В. Н. Сергеев. Однако при анализе доступных источников информации не выявлены обоснованные подходы к использованию шрота зародышей пшеницы и разработке функционально-технологической добавки на основе муки из него для хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, что определило цель работы.

**Цель и задачи исследования.** *Цель работы* – разработка технологии функционально-технологической добавки на основе вторичных зерновых ресурсов – механоактивированной муки из шрота зародышей пшеницы для хлебобулочных и мучных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности.

Для достижения цели поставлен ряд *задач*:

- проанализировать состояние, перспективы развития рынка хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, изучить вопросы использования вторичных зерновых ресурсов в технологии пищевых систем;
- изучить химический состав шрота зародышей пшеницы и его возможность использования в производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий;
- изучить влияние метода сухой механоактивации на изменение органолептических, физико-химических и микробиологических показателей качества и безопасности муки из шрота зародышей пшеницы;
- определить оптимальный ингредиентный состав функционально-технологической добавки на основе муки из шрота зародышей пшеницы и ее регламентируемые показатели качества и безопасности;
- исследовать влияние разработанной функционально-технологической добавки на технологические и реологические свойства различных видов теста, показатели качества и безопасности хлебобулочных и мучных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности;
- разработать нормативно-техническую документацию на производство функционально-технологической добавки, а также хлебобулочных и мучных кондитерских изделий с ее использованием.

**Научная новизна.** Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках п. 4, 11, 15 и 29 Паспорта научной специальности 4.3.3:

1. Доказана эффективность метода сухой механоактивации с использованием дезинтегратора в технологии получения муки из шрота зародышей пшеницы. Установлены рациональные режимы работы дезинтегратора: частота вращения роторов – 10 500 об/мин, скорость ударов – 175 м/с, время измельчения – 180 с, позволяющие получить до 76 % фракции с размерами частиц от 40 до 60 мкм (п. 4 Паспорта научной специальности 4.3.3).

2. Показана высокая степень дисперсности муки из шрота зародышей пшеницы (средний эквивалентный диаметр частиц 52 мкм), позволяющая влиять на структурную конформацию белковых и полисахаридных макромолекул, что приводит к увеличению их биодоступности и содержания низкомолекулярных компонентов (п. 15 Паспорта научной специальности 4.3.3).

3. Обоснован состав и рациональное соотношение компонентов в рецептуре функционально-технологической добавки с заданными свойствами и ее использование в технологии хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, содержащей 68,4 % муки из шрота зародышей пшеницы, полученной методом сухой механоактивации, 23,3 % инулина, 8,3 % лецитина (п. 11 Паспорта научной специальности 4.3.3).

4. Показана эффективность использования функционально-технологической добавки для повышения пищевой ценности, улучшения органолептических показателей и сохранности хлебобулочных и мучных кондитерских изделий (п. 29 Паспорта научной специальности ВАК 4.3.3).

**Теоретическая и практическая значимость работы.** *Теоретическая значимость* заключается в применении научно обоснованного подхода к моделированию заданных технологических и потребительских свойств продуктов переработки зернового сырья с помощью метода сухой механоактивации.

*Практическая значимость* заключается в разработке технологии механоактивации применительно к шроту зародышей пшеницы, определении рационального соотношения компонентов в рецептуре функционально-технологической добавки с заданными технологическими свойствами и его использование в составе хлебобулочных и мучных кондитерских изделий.

По результатам работы получен патент РФ № 2804613 «Способ изготовления хлеба».

Разработана НТД на производство ФТД на основе муки зародышей пшеницы и готовой продукции (ТУ и ТИ 10.61.4-011-02069214-2021 «Полуфабрикат на основе муки зародышей пшеницы», ТУ и ТИ 10.71.11-014-40586197-2022 «Хлеб из пшеничной муки «Младость», ТУ и ТИ 10.72.12-017-40586197-2022 «Печенье сдобное «Полезное»).

Проведена промышленная апробация технологических решений в ООО «Хлебный дом» (г. Верхняя Пышма) и ООО «Вест-Ресторанс»

(г. Екатеринбург), что подтверждается актами о промышленной апробации и актами внедрения.

Материалы диссертации используются в учебном процессе на кафедре технологии питания ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» при подготовке бакалавров в рамках основной образовательной программы 19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания» (профиль «Организация и управление предприятиями в сфере индустрии питания») по дисциплине «Технология и организация специальных видов питания».

**Методология и методы исследования.** Методологической основой работы являются труды отечественных и зарубежных ученых в области производства обогащенных хлебобулочных и кондитерских изделий. Для решения поставленных задач применялись общенаучные и специальные методы. Исследования проводились в 3–5-кратной повторности.

**Положения, выносимые на защиту:**

- новые данные о влиянии метода сухой механоактивации на химический состав муки из шрота зародышей пшеницы и ее технологические свойства при производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий;
- результаты сравнительного анализа показателей качества функционально-технологической добавки на основе муки из шрота зародышей пшеницы с добавлением инулина и лецитина, и ее технологических свойств при различной степени дисперсности;
- новые технологические решения при изготовлении хлебобулочных и мучных кондитерских изделий с использованием добавки на основе муки из шрота зародышей пшеницы, полученной методом сухой механоактивации;
- результаты оценки технологической пригодности разработанной добавки на основе механоактивированной муки из шрота зародышей пшеницы в составе хлебобулочных и мучных кондитерских изделий.

**Степень достоверности и апробация результатов** подтверждена экспериментальными исследованиями, выполненными с использованием современных методов и оборудования, результаты которых статистически обработаны с применением Microsoft Office Excel 2019.

Основные результаты доложены и обсуждены на научных конференциях различного уровня, прошедших в Екатеринбурге (2012, 2013, 2015, 2017, 2018, 2020), Москве (2012), Харькове (2013), Ялте (2020), Красноярске (2021), Новосибирске (2021), Уфе (2022).

**Публикации.** По материалам исследований опубликовано 17 научных работ объемом 8,8 п. л., в том числе шесть статей в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации; две статьи в изданиях, индексируемых в международной базе Web of Science; 9 публикаций в сборниках и трудах международных и всероссийских конференций; один патент РФ № 2804613 «Способ изготовления хлеба».

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из четырех глав, включающих: аналитический обзор научно-технической литературы; методическую часть; результаты исследования и их анализ, список литературы и шесть приложений. Основное содержание изложено на 162 страницах печатного текста, включает 52 таблицы и 47 рисунков. Список литературы включает 209 источников, из них 28 – зарубежных авторов.

## **Основное содержание работы**

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, научная новизна, теоретическая, практическая значимость выполненных исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **главе 1 «Аналитический обзор научно-технической литературы»** проведен анализ состояния и тенденций развития рынка ХБИ и МКИ. Рассмотрено использование вторичных зерновых ресурсов в технологии ХБИ и МКИ. Обоснован выбор ШЗП в качестве рецептурного компонента для производства пищевых продуктов повышенной пищевой ценности.

В **главе 2 «Организация эксперимента, объекты и методы исследования»** изложены этапы проведения работы, выполненной автором в специализированных лабораториях ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет». Схема исследований представлена на рисунке 1.

Объектами исследования на различных этапах эксперимента являлись:

- ШЗП (ТУ 9295-001-02069214-11, изготовитель ООО «Сибтурн», г. Новосибирск);
- мука из ШЗП, полученная традиционным измельчением на валковой мельнице RM-1300 (далее – ТМШ);
- мука из ШЗП, полученная путем измельчения методом сухой механической активации в дезинтеграторе DESI-11 (далее – ММШ);
- ФТД на основе муки из ШЗП, изготовленная методом сухой механической активации, с добавлением инулина из цикория в виде аморфного порошка, полученного экстракцией из горячего водного раствора с последующей фильтрацией и высушиванием распылением, и лецитина соевого порошкообразного «Лецигран 1000 Р» (ГОСТ 32052-2013, ООО «Лецитал», г. Санкт-Петербург) в соотношении, %: 68,4:23,3:8,3;
- тесто дрожжевое хлебопекарное с внесением совместно с мукой ФТД в количестве 6–15 % от массы муки пшеничной первого сорта; тесто песочное с внесением ФТД в дозировках 9; 12; 15; 18 % к массе муки;
- образцы ХБИ и МКИ.

При выполнении экспериментальной части работы использовали стандартные, органолептические, физико-химические, биохимические, микробиологические, статистические, социологические, корреляционно-регрессионные методы.



Рисунок 1 – Схема исследований

**Глава 3 «Разработка рецептуры, исследование состава и свойств функционально-технологической добавки на основе муки из шрота зародышей пшеницы».** На первом этапе исследования изучена пищевая цен-



ность ТМШ и показана возможность ее использования в производстве хлеба из муки пшеничной в количестве 6 % от массы муки, для хлеба из смеси муки ржаной и пшеничной – 8 %, в рецептуре сдобного печенья – 9 % от массы муки за счет сухих веществ всего сырья. Исследовано влияние ТМШ на характер брожения дрожжевого теста, его реологические свойства, качество готовых изделий.

При внесении ТМШ в количестве более 9 % от массы муки пшеничной наблюдалось уменьшение объема к концу брожения как пшеничного, так и ржано-пшеничного теста по сравнению с другими образцами, что объясняется более вязкими свойствами данных образцов вследствие большего содержания водорастворимых веществ, в частности глутатиона, в пшеничных зародышах. Глутатион является активатором протеолиза, что приводит к расслаблению клейковинного каркаса теста. Увеличение дозировки муки из шрота приводило к ухудшению органолептических и физико-химических показателей готовых изделий, что связано с малой газодерживающей и влагоудерживающей способностью данных образцов теста, крупностью и неоднородностью помола шрота. Крупнодисперсные частицы ухудшали показатели качества образцов: затрудняли разрыхление теста, снижали объем выпеченного хлеба, уменьшали намокаемость печенья.

На следующем этапе для компенсации указанных недостатков готовых изделий и повышения эффективности использования ТМШ в производстве ХБИ и МКИ предложено тонкое измельчение ТМШ методом сухой механоактивации, что позволило увеличить поверхность дисперсного продукта и обеспечить более равномерное распределение компонентов. Процесс осуществляли в скоростном режиме многократно повторяющихся сжимающих нагрузок в стесненных условиях с периодом между нагружениями менее 0,025–0,030 с и количеством 40 раз и более повторных нагружений на измельчаемый продукт в дезинтеграторе DESI-11. Влияние режимов измельчения ТМШ на физико-химические и функционально-технологические показатели ММШ показано в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические и функционально-технологические показатели ММШ

Показатель	Частота вращения роторов, об/мин			
	7 500	9 000	10 500	12 000
Продолжительность процесса, с	240	210	180	140
Средний эквивалентный диаметр частиц, мкм	78,0	64,0	52,0	50,0
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	590,0	680,0	760,0	765,0
Водопоглощительная способность, %	62,0	65,0	70,0	70,0

Увеличение частоты вращения роторов в дезинтеграторе от 7 500 до 12 000 об/мин позволило получить средний эквивалентный диаметр частиц муки от 78 до 50 мкм при сокращении продолжительности процесса от 240

до 140 с, что отразилось на значении показателя насыпной плотности, который повышался пропорционально уменьшению дисперсности частиц.

На основании полученных данных выбран рациональный режим процесса тонкого измельчения: частота вращения роторов – 10 500 об/мин, скорость ударов – 175 м/с, продолжительность процесса – 180 с. Эквивалентный диаметр твердых частиц после измельчения составил 52 мкм при максимальных параметрах насыпной плотности 760 кг/м<sup>3</sup> и водопоглотительной способности 70 %.

Проведен сравнительный анализ гранулометрического состава образцов ТМШ и ММШ (рисунок 2).

Мука, полученная традиционным способом, имела размеры частиц в диапазоне от 40 до 190 мкм. После сухой механоактивации размеры частиц находились в пределах от 10 до 80 мкм, при этом содержание частиц в оптимальном для дальнейших исследований интервале от 40 до 60 мкм составляло 76 % от их общего объема.

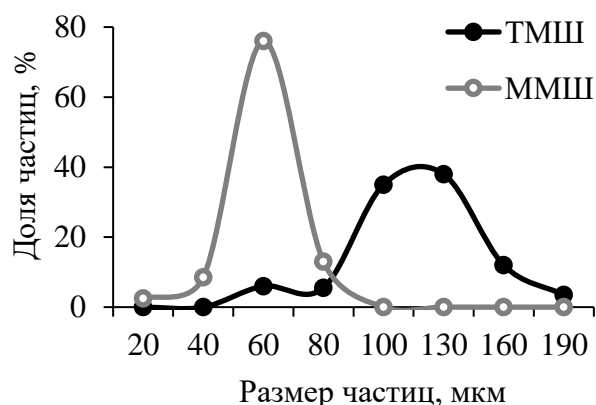


Рисунок 2 – Распределение частиц муки по размеру

На рисунке 3 представлены микрофотографии образцов муки, полученных на электронном микроскопе Jeol JEM-2100 при увеличении  $\times 250$ .

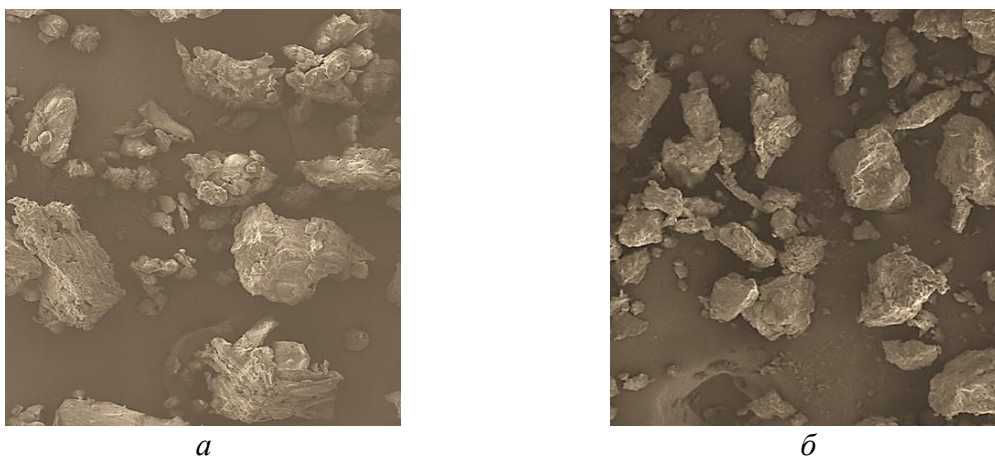


Рисунок 3 – Микрофотографии муки ( $\times 250$ ), полученной с помощью валковой мельницы RM-1300 (а) и дезинтегратора DESI-11 (б)

Анализ полученных данных свидетельствует, что применение механоактивации позволяет получать ММШ с монодисперсным однородным составом (76 % фракции имеют размер частиц 40–60 мкм). Гранулометрический состав ММШ имеет схожий состав с мукой пшеничной первого сорта (около 50 % фракции имеют размер частиц 40–50 мкм), что доказы-

вает возможность эффективного встраивания ММШ в систему конечного продукта.

Проведен сравнительный анализ химического состава образцов ТМШ и ММШ (таблица 2).

Таблица 2 – Химический состав образцов ТМШ и ММШ, полученных разными методами измельчения ( $M \pm m, n = 3$ )

Компоненты	Содержание в образцах муки, % на а. с. в.	
	ТМШ	ММШ
Белки	37,4 ± 0,2	37,1 ± 0,2
Жиры	1,0 ± 0,4	1,1 ± 0,4
Крахмал	16,5 ± 0,5	14,1 ± 0,5
Моно- и дисахариды	24,2 ± 0,5	28,3 ± 0,2
Пищевые волокна	16,6 ± 0,2	16,1 ± 0,2
Зола	4,37 ± 0,05	4,58 ± 0,05

Сухая механоактивация привела к некоторому изменению химического состава образца: массовая доля белков незначительно уменьшилась, простых сахаров – увеличилась на 17 %, содержание крахмала уменьшилось на 14,5 % по сравнению с образцом ТМШ. Это связано с деструкцией структуры природных полимеров в процессе механоактивации и снижением молекулярной массы указанных нутриентов.

Аминокислотный состав белка образцов муки представлен всеми незаменимыми аминокислотами (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание незаменимых аминокислот и биологическая ценность образцов муки, полученных разными методами измельчения

Показатель	ТМШ		ММШ	
	Содержание, мг на 1 г белка	Аминокислотный скор, %	Содержание, мг на 1 г белка	Аминокислотный скор, %
Валин	43,7	87,4	49,9	99,8
Изолейцин	41,4	103,5	42,5	106,3
Лейцин	67,3	96,1	69,3	99,0
Лизин	54,7	70,9	60,3	74,5
Метионин + цистин	28,2	80,6	30,1	86,0
Фенилаланин + тирозин	76,6	127,7	77,1	128,5
Треонин	42,3	105,8	45,1	113,5
Триптофан	9,2	92,0	10,4	104,0
Биологическая ценность, %	89,8		90,4	
Коэффициент эффективности белка расчетный	2,68		3,09	

Вследствие механоактивации количество свободных аминокислот повышалось в среднем на 8–10 %. Образец, полученный методом сухой механоактивации, имел более высокую биологическую ценность и коэффициент эффективности белка.

Для оценки биодоступности водорастворимых белков ММШ применен метод микрофльтрационного разделения водного экстракта ММШ, который позволил определить количество низкомолекулярных белков, перешедших в пермеат через фльтрационную мембрану (таблица 4).

Таблица 4 – Физико-химический состав водного экстракта образцов ТМШ и ММШ после микрофльтрационного разделения (средние значения)

Параметр	Водный экстракт муки, % мас.			
	ТМШ		ММШ	
	Концентрат	Пермеат	Концентрат	Пермеат
Белок общий	10,5 ± 0,2	1,1 ± 0,1	7,6 ± 0,2	3,8 ± 0,1
Амилоза	8,0 ± 0,1	0,8 ± 0,1	9,3 ± 0,1	3,0 ± 0,1
Минеральные вещества	3,5 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,5 ± 0,2

Водный экстракт готовили при соотношении муки и воды 1:2. В экспериментах использовали трубчатые керамические мембраны серии КМФЭ на основе диоксида титана и альфа-оксида алюминия с нанесенным селективным слоем толщиной 50 мкм и отсечкой 100 кДа.

На основе данных микрофльтрационного разделения установлено, что механоактивация позволила получить большее количество растворимых сухих веществ в пермеате. Увеличилась массовая доля амилозы, низкомолекулярных белков, что положительно влияет на их биодоступность и усвояемость ММШ.

Для оптимизации технологического процесса при производстве ХБИ и МКИ целесообразно комбинировать ММШ с инулином для обогащения пищевыми волокнами и лецитином в качестве эмульгатора. Инулин оказывает дегидратирующее действие на клейковинные белки, конкурирует с ними за связывание воды, тем самым укрепляя тесто.

При определении рационального соотношения компонентов в составе ФТД на основе ММШ с добавлением инулина и лецитина изучено индивидуальное влияние каждого компонента на показатели качества ХБИ и проведено математическое моделирование результатов исследований с использованием дробного факторного эксперимента. Основными факторами выбраны дозировки вносимых добавок (% к массе муки):  $x_1$  – ММШ,  $x_2$  – инулин,  $x_3$  – лецитин. Уровни варьирования факторов основаны на результатах предварительных экспериментов (таблица 5). Параметрами оптимизации математической модели выбраны две функции отклика –  $y_o$  (органолептическая оценка качества, балл) и  $y_n$  (пористость мякиша, %).

Таблица 5 – Уровни варьирования факторов эксперимента

Уровень планирования	Дозировка, %		
	ММШ $x_1$	Инулин $x_2$	Лецитин $x_3$
Основной уровень	8,0	3,0	1,0
Интервал варьирования	2,0	2,0	0,3
Верхний уровень	10,0	5,0	1,3
Нижний уровень	6,0	1,0	0,7

Получено уравнение регрессии для органолептических показателей ХБИ. Наибольшее влияние на органолептические показатели ХБИ оказало совместное внесение всех трех добавок:

$$y_o = 65,0 - 1,85x_1 + 0,25x_2 + 0,25x_3 - 2,1x_1x_2 - 2,1x_1x_3 + 0,1x_2x_3 - 2,35x_1x_2x_3. \quad (1)$$

Уравнение регрессии для пористости ХБИ:

$$y_n = 70,8 + 5,81x_1 - 0,8x_2 - 0,025x_3 - 1,075x_1x_2 - 1,85x_1x_3 - 0,775x_2x_3 - 1,05x_1x_2x_3. \quad (2)$$

Из уравнения (2) видно, что наибольшее влияние на величину показателя пористости оказала дозировка ММШ.

Таким образом, методом математического моделирования определен рациональный ингредиентный состав для получения ФТД, содержащей 68,4 % муки из ШЗП, полученной методом сухой механоактивации, 23,3 % инулина, 8,3 % лецитина.

Упакованные образцы ФТД хранили по ГОСТ 26791 при температуре 18 °С и относительной влажности воздуха 70 % в течение 15 мес. Совокупный анализ результатов исследований ФТД в процессе хранения показал ее соответствие регламентируемым требованиям в течение 12 мес. Установлено, что ФТД на протяжении указанного периода не имела статистически значимых отличий по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям.

Регламентируемые показатели ФТД закреплены в разработанных ТУ 10.61.4-011-02069214-2021 «Полуфабрикат на основе зародышей пшеницы».

**Глава 4 «Разработка рецептурно-технологических решений применения функционально-технологической добавки на основе муки из шрота зародышей пшеницы с добавлением инулина и лецитина».** Исследовано влияние ФТД на количество и качество клейковины муки пшеничной первого сорта. В эксперименте варьировали количество вносимой ФТД в диапазоне от 6 % до 15 % с шагом 3 % (таблица 6).

Таблица 6 – Влияние ФТД на количество и качество клейковины муки пшеничной первого сорта ( $M \pm m$ ,  $n = 3$ )

Показатель	Контроль	Образец 1 (6 %)	Образец 2 (9 %)	Образец 3 (12 %)	Образец 4 (15 %)
М. д. сырой клейковины, %	$32,0 \pm 0,3$	$31,5 \pm 0,2$	$31,5 \pm 0,2$	$31,2 \pm 0,1$	$30,8 \pm 0,2$
Показатели прибора ИДК-1, усл. ед.	$55,0 \pm 1,0$	$55,0 \pm 1,0$	$52,5 \pm 0,5$	$50,0 \pm 1,0$	$50,0 \pm 1,0$

Установлено снижение массовой доли сырой клейковины в опытных образцах по сравнению с контролем, так как в составе ФТД содержится меньше клейковинных белков. Однако по качеству клейковина с внесением ФТД изменялась незначительно: от 55 усл. ед. в контрольном образце до 50 усл. ед. в образцах 3 и 4 с внесением 12 % и 15 % ФТД, что указывает на укрепление клейковинных белков под влиянием инулина.

С увеличением дозировки ФТД возрастало количество выделившегося диоксида углерода в процессе брожения, что свидетельствует о повышении газообразующей способности муки от 1040 см<sup>3</sup> в контрольном образце до 1395 см<sup>3</sup> в образце с максимальным количеством ФТД (рисунок 4).

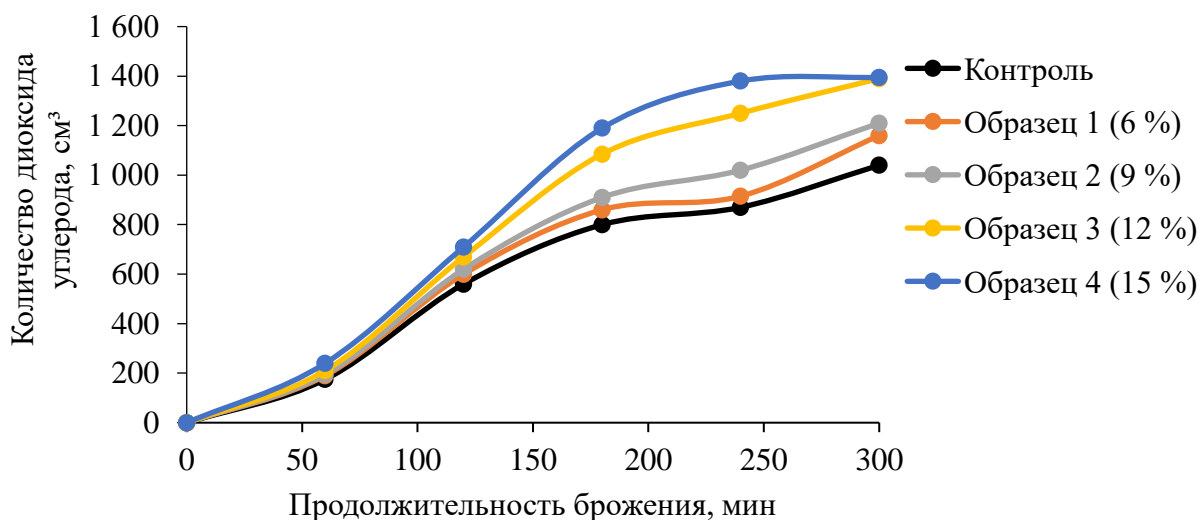


Рисунок 4 – Влияние дозировки ФТД на газообразующую способность муки

Дрожжевое тесто готовили по рецептуре хлеба пшеничного на густой опаре с использованием ФТД в количестве 6–15 % от массы муки пшеничной первого сорта, которую вносили в тесто совместно с мукой. При увеличении дозировки ФТД цвет образцов теста изменялся от белого с кремовым оттенком до светло-желтого с серым оттенком, появлялся сладковатый привкус и приятный злаковый аромат.

График зависимости упругой деформации теста от дозировки ФТД показан на рисунке 5.

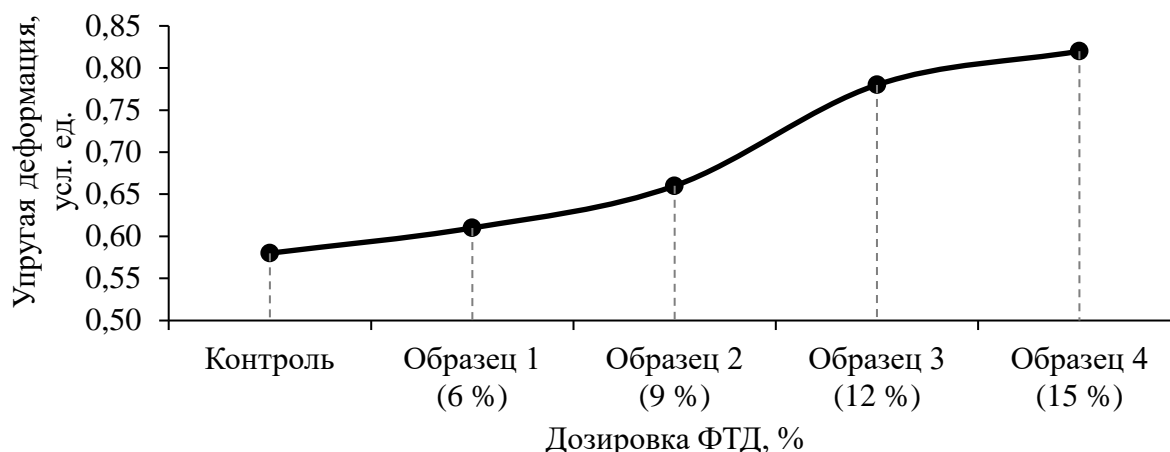


Рисунок 5 – Зависимость упругой деформации теста от дозировки ФТД

Наибольшей упругой деформацией обладал образец 4 (доля ФТД 15 % от массы муки). Это свидетельствует, что ММШ в составе ФТД из-за повышенного содержания глутатиона и свободных сульфгидрильных групп ( $-SH$ ) способна ослаблять клейковину и тесто. Однако пищевые волокна, в частности инулин, оказывают дегидратирующее действие на клейковинные белки, укрепляя тесто.

Внешний вид образцов ХБИ представлен на рисунке 6.

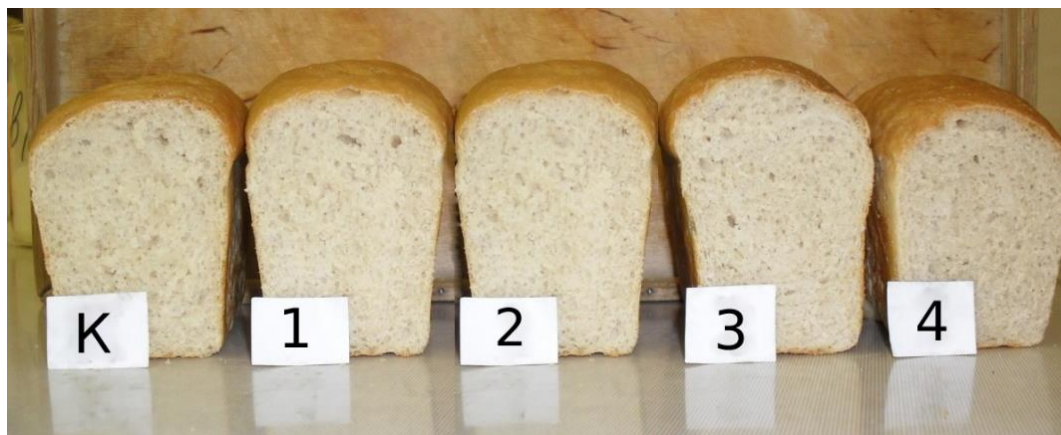


Рисунок 6 – Внешний вид образцов формового хлеба:

*К* – контрольного и опытных с внесением ФТД в разных дозировках:

*1* – 6 %; *2* – 9 %; *3* – 12 %; *4* – 15 %

Результаты исследования физико-химических показателей опытных образцов ХБИ представлены в таблице 7.

Пористость мякиша хлеба с повышением ФТД постепенно увеличивалась и достигала максимума ( $76,0 \pm 0,5$ ) % при внесении 12 % ФТД. Однако дальнейшее увеличение дозировки ФТД до 15 % приводило к резкому снижению пористости до значения ( $72,0 \pm 1,0$ ) %, что ниже контроля, но соответствует требованиям ГОСТ 31805-2018.

Таблица 7 – Физико-химические показатели качества образцов готовых ХБИ ( $M \pm m, n = 3$ )

Показатель	Требования ГОСТ 31805-2018	Контроль	Образец 1 (6 %)	Образец 2 (9 %)	Образец 3 (12 %)	Образец 4 (15 %)
Влажность мякиша, %	19,0–52,0	44,9±0,1	44,9±0,1	45,1±0,1	44,8±0,1	44,7±0,1
Кислотность мякиша, град	≤ 4,0	3,0±0,1	3,2±0,1	3,3±0,1	3,6±0,1	4,0±0,1
Пористость, %	≥ 65,0	73,0±0,5	73,0±0,5	75,0±0,5	76,0±0,5	72,0±1,0

Оптимальным по органолептическим и физико-химическим показателям качества стал образец с дозировкой ФТД в количестве 12 % от массы пшеничной муки, имевший лучшие потребительские свойства и показатели качества. Его пищевая ценность в отношении белков повысилась на 20,6 %, моно- и дисахаридов – на 9,4 %, пищевых волокон – на 54,5 %.

На следующем этапе работы изучено влияние ФТД в количестве 9; 12; 15; 18 % к массе муки на качество сдобного печенья. Песочное тесто готовили по рецептуре сдобного печенья «Песочно-шоколадное».

Внесение ФТД влияло на органолептические показатели песочного теста, придавая ему вкус и запах, свойственные добавке. Консистенция теста становилась менее пластичной по сравнению с контролем. На этом этапе определено оптимальное количество ФТД в рецептуре сдобного печенья – 15 % к массе муки пшеничной высшего сорта. Дальнейшее увеличение дозировки добавки приводило к уменьшению растекаемости готовых изделий на этапе выпечки и к снижению их хрупкости. Образцы печенья с добавлением 12 % и 15 % ФТД приобретали приятный ореховый привкус.

Физико-химические показатели сдобного печенья с разными дозировками ФТД представлены в таблице 8. Все образцы печенья по физико-химическим показателям качества соответствовали требованиям ГОСТ 24901-2014.

Таблица 8 – Физико-химические показатели качества образцов сдобного печенья ( $M \pm m, n = 3$ )

Показатель	Требования ГОСТ 24901-2014	Контроль	Образец 1 (9 %)	Образец 2 (12 %)	Образец 3 (15 %)	Образец 4 (18 %)
М. д. влаги, %	≤ 16,0	5,1±0,1	5,3±0,1	5,6±0,1	5,8±0,1	5,9±0,1
М. д. общего сахара (по сахарозе), %	≤ 45,0	16,1±0,1	16,2±0,1	16,4±0,1	16,5±0,1	16,7±0,1
М. д. жира, %	≤ 40,0	35,7±0,3	34,4±0,3	33,8±0,2	32,2±0,2	31,5±0,2
Щелочность, град	≤ 2,0	0,4±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1
М. д. общей золы, %	–	0,62±0,05	0,68±0,05	0,76±0,05	0,82±0,02	0,85±0,02
Намокаемость, %	≥ 150,0	161,0±1,0	159,0±1,0	155,0±1,0	154,0±1,0	152,0±1,0



Далее изучена возможность уменьшения количества сахарной пудры (на 5; 10; 15; 20 % от общего количества) в рецептуре оптимального образца, содержащего 15 % ФТД к массе муки пшеничной высшего сорта за счет сухих веществ всего сырья.

При уменьшении количества сахарной пудры в рецептуре печенья до 20 % образец имел на поверхности трещины и вздутия, неравномерную пористость в изломе. В результате за счет уменьшения сахарной пудры увеличивалась масса всего остального сырья, в том числе масса ФТД, что вело к некоторому уплотнению структуры и ухудшению показателей качества.

По физико-химическим показателям образец с уменьшенным внесением сахарной пудры до 15 % не уступал контрольному и обеспечил значительную экономию сырья. Содержание белков увеличивалось на 31,1 %, пищевых волокон – на 400 %, уменьшалось содержание жиров – на 6,2 %, моно- и дисахаридов – на 8,8 %.

Сдобное печенье сохраняло свежесть при хранении в течение 28 сут, величина усушки снижалась на 32,6 % по сравнению с контролем.

На основании проведенных исследований выбран оптимальный образец с уменьшением содержания сахарной пудры на 15 % от рецептурного количества, который по органолептическим и физико-химическим показателям качества не уступал контрольному.

В таблице 9 представлены основные технико-экономические показатели производства продукции по предлагаемым технологиям с использованием ФТД.

Таблица 9 – Основные технико-экономические показатели

Показатель	Хлеб из муки пшеничной первого сорта	Хлеб «Младость»	Сдобное печенье «Песочно-шоколадное»	Сдобное печенье «Полезное»
	Масса 0,6 кг		Масса 0,4 кг	
Полная себестоимость 1 т продукции, р.	39 534,30	55 437,40	280 662,20	282 562,00
Отпускная цена 1 ед. изделий, р.	26,60	33,30	112,30	113,00

Отпускная цена 1 ед. экспериментального хлеба массой 0,6 кг повысилась на 25,2 % (6,7 р.) по сравнению с ценой хлеба, приготовленного по традиционной рецептуре. Применение ФТД в рецептуре сдобного печенья привело к увеличению отпускной цены 1 ед. изделий массой 0,4 кг на 0,6 % (0,7 р.). Анализ рыночных цен аналогичных продуктов питания с учетом наценки свидетельствует о конкурентоспособности разрабатываемой продукции.

## Заключение

Использование вторичных сырьевых ресурсов, получаемых при переработке зерна, является одним из приоритетных направлений развития отрасли, позволяющих максимально вовлечь данные ресурсы в производственный процесс, что в целом способствует сохранению и улучшению экологической ситуации.

Выводы по результатам проведенных исследований:

1. На основе анализа научных данных и современного состояния производства, тенденций развития рынка ХБИ и МКИ показана необходимость расширения ассортимента за счет внедрения в производство безопасных ресурсосберегающих технологий переработки вторичного зернового сырья, в частности ШЗП.

2. На основании полученных данных о химическом составе ТМШ показана возможность ее применения в рецептурах и технологии ХБИ и МКИ в количестве от 6 % до 9 % от массы муки. Внесение ТМШ положительно влияло на процесс брожения дрожжевого теста, его реологические свойства и качество готовых изделий. По физико-химическим показателям образцы хлеба с оптимальными дозировками ТМШ отличались большей пористостью, объемом и формоустойчивостью; образцы печенья имели повышенную намокаемость по сравнению с контрольными и другими образцами. Увеличение дозировки ТМШ сверх оптимального количества приводило к ухудшению органолептических и физико-химических показателей готовых изделий, что объясняется крупностью и неоднородностью помола ТМШ.

3. Установлена целесообразность применения метода сухой механоактивации с использованием дезинтегратора для измельчения ТМШ и получения ФТД на основе ММШ. Установлены оптимальные режимы: частота вращения роторов – 10 500 об/мин, скорость ударов – 175 м/с, продолжительность процесса – 180 с. Мука, полученная традиционным способом, имела размеры частиц в диапазоне от 40 до 190 мкм. Размеры частиц после сухой механоактивации находились в пределах от 10 до 80 мкм, при этом содержание частиц размером от 40 до 60 мкм составляло 76 % от их общего объема, насыпная плотность 760 кг/м<sup>3</sup>.

При использовании механоактивации наблюдалось увеличение содержания массовой доли сахаров на 17 %, снижение содержания крахмала на 14,5 % по сравнению с исходной ТМШ.

4. Методом математического моделирования определено рациональное соотношение компонентов в рецептуре функционально-технологической добавки на основе ММШ: 68,4 % муки из ШЗП, полученной методом сухой механоактивации, 23,3 % инулина, 8,3 % лецитина.

5. На основании органолептических, физико-химических и микробиологических исследований функционально-технологической добавки в процессе хранения установлены регламентируемые показатели качества и без-

опасности, пищевая ценность и срок хранения – 12 мес. Все исследуемые образцы по безопасности соответствовали требованиям ТР ТС 0121/2011.

6. Определены параметры приготовления хлеба из пшеничной муки и сдобного печенья с использованием ФТД. Введение в рецептуру хлеба 12 % ФТД от массы муки, в рецептуру печенья – 15 % ФТД к массе муки за счет сухих веществ всего сырья с уменьшением массы сахарной пудры на 15 % от рецептурного количества позволило улучшить реологические свойства теста, органолептические и физико-химические показатели качества готового изделия.

7. На разработанную ФТД на основе ММШ, а также на ХБИ и МКИ с ее использованием разработана и утверждена НТД. Продукция прошла промышленную апробацию и внедрена в производство.

## **Список работ, опубликованных автором по теме диссертации**

### **Публикации в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ**

1. Рыбаков, Ю.С. Использование механоактивации зародышей пшеницы в производстве хлебобулочных изделий / Ю.С. Рыбаков, **Н.А. Лесникова**, Л.Ю. Лаврова [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 4 (122). – С. 50-53.

2. **Лесникова, Н.А.** Влияние механоактивированной муки зародышей пшеницы на качество хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки / **Н.А. Лесникова**, Л.Ю. Лаврова, Е.Л. Борцова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2014. – № 5 (28). – С. 42–47.

3. Рыбаков, Ю.С. Расширение ассортимента хлебобулочных изделий за счет использования вторичных сырьевых ресурсов / Ю.С. Рыбаков, Л.Ю. Лаврова, Е.Л. Борцова, **Н.А. Лесникова** // Аграрный вестник Урала. – 2016. – № 7 (149). – С. 51–56.

4. **Лесникова, Н.А.** Использование муки зародышей пшеницы в производстве хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки / **Н.А. Лесникова**, Т.В. Котова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2020. – Т. 9, № 3 (51). – С. 86–90.

5. **Лесникова, Н.А.** Мука зародышей пшеницы в технологии мучных кондитерских изделий / **Н.А. Лесникова** // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2022. – № 2 (24). – С. 30–38.

6. **Лесникова, Н.А.** Исследование физико-химических свойств механоактивированной муки из жмыха зародышей пшеницы / **Н.А. Лесникова**, В.А. Лазарев, О.С. Чеченихина, Т.В. Котова // Индустрия питания. – 2023. – Т. 8, № 4. – С. 49–57.

### **Свидетельства и патенты**

7. Патент № 2804613 Российская Федерация, МПК А21D 8/02. Способ изготовления хлеба : № 2022129534 : заявл. 14.11.2022 : опубл. 02.10.2023 / **Н.А. Лесникова**, Т.В. Котова, Л.Ю. Лаврова [и др.].

### Прочие публикации

8. **Лесникова, Н.А.** Нетрадиционное сырье хлебопекарного производства / Н.А. Лесникова, Л.Ю. Лаврова // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2011. – № 11. – С. 37.

9. Lavrova, L.Ju. Sulla possibilità di polvere meccanico biologico da farina di germe di grano nella produzione alimentare / L.Ju. Lavrova, E.L. Borcova, **N.A. Lesnikova** // Italian Science Review. – 2014. – Vol. 4, № 13. – P. 236–237.

10. Лаврова, Л.Ю. Безотходная технология как один из путей интенсификации пищевой промышленности / Л.Ю. Лаврова, Е.Л. Борцова, **Н.А. Лесникова** // Наука и образование в современном обществе: вектор развития : сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 3 апр. 2014 г.): в 7 ч. – Москва : Ар-Консалт, 2014. – С. 115–117.

11. **Lesnikova, N.A.** Utilizzando generi non convenzionali di materie prime vegetali di prodotti da forno e pasticceria / N.A. Lesnikova, L.Yu. Lavrova, E.L. Bortsova // Italian Science Review. – 2015. – Vol. 11, № 32. – P. 47–49.

12. Рыбаков, Ю.С. Перспективы использования нетрадиционного сырья в производстве кондитерских изделий / Ю.С. Рыбаков, **Н.А. Лесникова** // Современное хлебопекарное производство: перспективы развития : материалы XVII Всерос. заоч. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 18 нояб. 2016 г.). – Екатеринбург : УрГЭУ, 2016. – С. 155–164.

13. **Лесникова, Н.А.** Совершенствование биотехнологии производства хлебобулочных изделий / Н.А. Лесникова, Т.В. Котова // Актуальная биотехнология. – 2020. – № 3 (34). – С. 214–217.

14. **Лесникова, Н.А.** Исследование влияния различных дозировок полуфабрикатов на основе зародышей пшеницы на реологические свойства дрожжевого теста / Н.А. Лесникова, О.В. Чугунова // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 20 апр. 2021 г.). – Екатеринбург : УрГЭУ, 2021. – С. 89–95.

15. **Лесникова, Н.А.** Исследование физико-химических и функционально-технологических характеристик полуфабрикатов на основе зародышей пшеницы / Н.А. Лесникова, О.В. Чугунова // Проспект Свободный – 2021 : материалы XVII Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Красноярск, 19–24 апр. 2021 г.). – Красноярск : СФУ, 2021. – С. 114–117.

16. **Lesnikova, N.** Mechanical activation in utilizing milling byproducts: a way to improve effectiveness / N. Lesnikova, O. Chugunova, V. Lapina [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 296. – Art. 07012.

17. **Лесникова, Н.А.** Повышение пищевой ценности сдобного печенья / Н.А. Лесникова, Т.В. Котова // Fundamental science and technology : сб. науч. ст. X Междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 20 дек. 2022 г.): в 4 ч. – Уфа : Вестник науки, 2022. – Ч. 1. – С. 105–111.

18. **Lesnikova, N.** Development of new resource-saving, environmentally friendly technological processes in flour grinding production / N. Lesnikova, N. Pankratieva, N. Goncharova // E3S Web of Conferences. – 2023. – Vol. 451. – Art. 04002.

## Список сокращений и условных обозначений

ХБИ – хлебобулочные изделия.

МКИ – мучные кондитерские изделия.

ШЗП – шрот зародышей пшеницы.

ТМШ – мука из шрота зародышей пшеницы, полученная традиционным измельчением на валковой мельнице RM-1300.

ММШ – мука из шрота зародышей пшеницы, полученная путем измельчения методом сухой механоактивации в дезинтеграторе DESI-11.

ФТД – функционально-технологическая добавка на основе муки из шрота зародышей пшеницы, полученной методом сухой механоактивации, с добавлением инулина и лецитина.

НТД – нормативно-техническая документация.

м. д. – массовая доля.

а. с. в. – абсолютно сухое вещество.

Подписано в печать 02.02.2024.

Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Печать плоская.

Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 50.

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