

На правах рукописи



СКВОРЦОВА Ольга Борисовна

**РАЗРАБОТКА НАУЧНО ОБОСНОВАННЫХ
РЕЦЕПТУР И ТЕХНОЛОГИЙ
ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КЕКСОВ
ДЛЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

Специальность 05.18.01 – Технология обработки,
хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных
продуктов, плодоовощной продукции
и виноградарства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

**Воронеж
2022**

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Пономарева Елена Ивановна
(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», профессор)

Официальные оппоненты:
Курочкин Анатолий Алексеевич
доктор технических наук, профессор
(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза);
Перфилова Ольга Викторовна
доктор технических наук, профессор
(ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск)

Ведущая организация: **НОЧУ ДПО «Международная промышленная академия», г. Москва**

Защита состоится «01» июля 2022 года в 10 часов 00 минут на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.035.04 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» по адресу: 394036, г. Воронеж, проспект Революции, 19, конференц-зал.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой печатью учреждения, просим присылать ученому секретарю совета Д 212.035.04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Автореферат размещен в сети Интернет на официальном сайте Министерства науки и высшего образования РФ по адресу: vak2.ed.gov.ru и на официальном сайте ФГБОУ ВО ВГУИТ www.vsuert.ru «28» апреля 2022 года.

Автореферат разослан «24» мая 2022 года.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций на соискание ученой
степени кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук
Д 212.035.04, к.т.н., доцент.



Е.В. Белокурова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Согласно правительственному документу «Стратегия формирования здорового образа жизни населения, профилактики и контроля неинфекционных заболеваний на период до 2025 года» (приказ Минздрава от 15.01.2020 № 8) реальные потребности населения в пище связаны с улучшением здоровья граждан РФ.

Одной из важнейших задач повышения качества жизни людей, проживающих в районах с неблагоприятными факторами среды обитания, является организация рационального характера питания. По данным ВОЗ патогенность атмосферного воздуха и различные виды интоксикации вследствие употребления продуктов, полученных на загрязненных территориях, некачественная питьевая вода влияют на генетическую предрасположенность к различным заболеваниям и являются причиной дополнительных 13 млн смертей населения в мире ежегодно. Санитарно-эпидемиологическое благополучие населения обеспечивается посредством профилактики заболеваний, что согласуется с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания».

В связи с этим наиболее эффективный и экономичный способ – это включение в рацион питания населения продуктов массового потребления, в том числе хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности, обеспечивающих профилактику алиментарно-зависимых заболеваний за счет компенсации дисбаланса в организме макро- и микронутриентов.

Диссертационное исследование проводилось в рамках государственной НИР кафедры «Технология хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств» (ТХКМЗП) ФГБОУ ВО «ВГУИТ» - «Разработка энерго-, ресурсосберегающих и экологически чистых технологий, конкурентоспособных продуктов и соответствующих аппаратурных оформлений на предприятиях хлебопекарной, кондитерской, макаронной и зерноперерабатывающей промышленности», а также в рам-

ках хоздоговора между ВГУИТ и ООО «Ласенор Русия» (г. Ростов-на-Дону) «Применение гидролизованного лецитина VEROLEC HE-60 при производстве традиционных видов хлебобулочных изделий с целью улучшения их органолептических, физико-химических показателей и оптимизации технологии производства» (№ 28/19 от 01.11.2019 г.).

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в развитие теории и практики производства хлебобулочных изделий для рационального питания внесли отечественные и зарубежные ученые: Н.А. Березина, С.Я. Корячкина, А.А. Курочкин, Л.В. Лабутина, Г.О. Магомедов, Л.П. Пашенко, О.В. Перфилова, Е.И. Пономарева, А.С. Романов, Ю.Ф. Росляков, Т.В. Санина, Т.Б. Цыганова, В.Я. Черных, И.А. Никитин, Carolien Descamps, Iris Joy, Brem Parite, Christophe Courtin, Melim Miguel и др.

Однако проблема остается актуальной, так как на рынке представлен недостаточный ассортимент хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, способствующих детоксикации и восполнению дефицита витаминов, минеральных веществ в организме людей, в том числе испытывающих воздействие на здоровье неблагоприятных факторов среды обитания.

Таким образом, разработка нового ассортимента хлебобулочных и мучных кондитерских изделий профилактической направленности за счет применения нетрадиционных видов сырья, в том числе пророщенного зерна различных культур, и изучение его влияния на здоровье потребителей является **актуальной задачей** для отечественной хлебопекарной отрасли.

Цель исследования: научно-практическое обоснование проращивания зерна гречихи, разработка новых рецептур и технологий хлебобулочных, мучных кондитерских изделий, предназначенных для рационального питания, на основе коррекции их свойств и нутриентного состава за счет применения нетрадиционного сырья.

В соответствии с поставленной целью решались **задачи:**

- провести патентно-информационный поиск, исследовать химический состав нетрадиционных видов сырья и научно обосновать его применение в технологиях хлебобулочных изделий и кексов, рекомендованных для рационального питания;

- установить рациональные параметры проращивания зерна гречихи, изучить его микроструктуру и элементный состав при набухании;

- исследовать характер изменения содержания влаги в объеме зерна гречихи в разные промежутки времени в процессе замачивания, разработать математическую модель диффузии влаги в зерно при набухании в воде водопроводной и обработанной ультразвуком;

- проанализировать эффективность использования гидролизованного соевого лецитина VEROLEC HE-60 в производстве масловых сортов хлебобулочных изделий из пшеничной муки первого сорта;

- определить рациональные дозировки нетрадиционного сырья путем оценки показателей качества новых хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, изучить их химический состав и рассчитать степень удовлетворения суточной потребности организма в пищевых нутриентах и энергии;

- разработать техническую документацию на сырье, новые виды хлебобулочных изделий, провести апробацию технологий в производственных условиях, рассчитать экономическую эффективность предлагаемых способов.

Научная новизна. Ультразвуковая обработка питьевой воды (плотность звуковой энергии 15 кДж/м^3 , частота 21 кГц, продолжительность 20 мин) при проращивании зерна гречихи способствует увеличению энергии прорастания, интенсификации процесса, повышению содержания минеральных веществ (натрия, магния, фосфора, калия, кальция, цинка, железа, селена) в 1,2-33,3 раза и незаменимых аминокислот на 6-62 %.

Разработанная динамическая пространственная математическая модель изотермической изотропной диффузии воды в зерне гречихи описывает процесс степени набухания зерна в диффузионном приближении и позволяет оценить динамику изменения степени набухания и характера распределения влаги, идентифицированы коэффициенты эффективной диффузии для воды водопроводной и обработанной ультразвуком.

Теоретически и экспериментально доказана эффективность использования и установлены рациональные дозировки проро-

щенной гречихи, гидролизованного соевого лецитина VEROLEC HE-60, муки из цельносмолотого зерна пшеницы, полбяной цельносмолотой муки, мякоти тыквы, порошков из семян тыквы, пажитника, корня подсолнечника в технологии хлебобулочных изделий и кексов повышенной пищевой ценности.

Теоретическая и практическая значимость работы. Химический состав и функциональные свойства нетрадиционных видов сырья доказывают целесообразность их применения в производстве обогащенных хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, позволяют расширить теоретические знания в области рационального использования ресурсов сельскохозяйственного производства.

Научно обоснованные рецептуры и технологии хлебобулочных изделий, кексов с внесением нетрадиционных видов сырья способствуют повышению эффективности технологического процесса, увеличению пищевой ценности продукции, улучшению ее функциональных свойств.

Полученные зависимости и закономерности позволили сформировать новые знания, используемые в учебном процессе при реализации дисциплин для подготовки бакалавров и магистров по направлению 19.03.02 и 19.04.02 - «Продукты питания из растительного сырья» при выполнении курсовых проектов, выпускных квалификационных работ, при проведении лекционных и лабораторных занятий, при написании учебных пособий.

Предлагаемые технологические решения успешно прошли апробацию в условиях промышленных предприятий: АО «Хлебозавод № 7» (г. Воронеж), АО «Лимак» (г. Липецк).

Новизна предлагаемых технических решений подтверждена 5 патентами РФ на изобретения. Разработано и утверждено 12 пакетов технической документации на сырье, новые хлебобулочные изделия и кексы.

Ожидаемый экономический эффект от реализации 1 т разработанной продукции составит от 23,08 до 98,87 тыс. р. при рентабельности производства 15 % (в зависимости от вида изделий).

Методология и методы исследования. Методологическая основа диссертационной работы базируется на общенаучных и специальных теоретических, эмпирических и практических закономерностях. При выполнении анализов применяли современные

физические, химические, биохимические, микробиологические и органолептические методы, концепции и средства проведения экспериментов, связанные с разработкой и оценкой качества сырья, полуфабрикатов, готовых хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. Экспериментальные результаты приведены после статистической обработки данных выборки из 3-5 опытов. Степень вероятности эксперимента составила 95 %.

Положения, выносимые на защиту:

- закономерности изменения элементного состава, микроструктуры и физико-химических свойств зерна гречихи под действием ультразвуковой обработки в процессе замачивания;
- результаты исследований распределения влаги в зерне гречихи при набухании;
- условия получения полуфабрикатов и новых видов хлебобулочных, мучных кондитерских изделий с высокими потребительскими свойствами.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационное исследование соответствует п. 1, 2 и 4 паспорта специальности 05.18.01 – «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства».

Степень достоверности и апробация результатов. Подтверждается глубиной проработки литературных источников, постановкой экспериментов, применением современных инструментальных методов анализа, математической обработкой экспериментальных данных, публикацией основных результатов диссертации и участием в работе российских и международных научно-технических конференций: «Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений» (Воронеж, 2017-2021); «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение» (Воронеж, 2018-2020); «Инновационные процессы в пищевых технологиях: наука и практика» (Москва, 2019); «Биотехнологические аспекты управления технологиями пищевых продуктов в условиях международной конференции» (Курган, 2019); «Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века» (Краснодар, 2019); «Качество зерна, муки и

хлеба» (Москва, 2019); «Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции» (Пенза, 2020); «Инженерные технологии в сельском и лесном хозяйстве» (Тюмень, 2020); «Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции» (Саратов, 2020); «Вопросы индустриализации аграрного сектора» (Таджикистан, 2021).

Разработки экспонировались в рамках Международной выставки хлебопекарного и кондитерского рынка «Modern Bakery» (Москва, 2017-2021); чемпионата «Молодые профессионалы (Ворлдскиллс Россия- 2018)» (Воронеж, 2018), Международной выставки изобретений и инноваций им. Н. Г. Славянова (Воронеж, 2019), выставки «Пекарь и кондитер» Всемирного форума по хлебопечению «Хлеб – это мир» (Калуга, 2019); научного конкурса пищевой биотехнологии «Необычно. Вкусно. Биотехнологично» (Бийск, 2020); Всероссийского конкурса молодых изобретателей и рационализаторов памяти Е.В. Сливинского (Елец, 2021).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 43 научные работы, в том числе 1 монография, 1 статья в базе Scopus, 1 статья в базе Agris, 6 статей в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 29 статей в журналах и по материалам докладов на всероссийских и международных конференциях, получено 5 патентов РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения по результатам исследований, библиографического списка из 264 наименований, в том числе 21 на иностранных языках, приложений и представлена на 295 страницах машинописного текста, в 79 таблицах и 45 рисунках.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в анализе информации по проблеме диссертационного исследования, постановке, реализации, обработке результатов экспериментов, по изучению применения нетрадиционного сырья в производстве функциональных хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, оценке их показателей качества. Автором разработана техническая документация на новые виды продукции, проведена апробация их в производстве.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, представлена научная и практическая ценность диссертации.

Глава 1. Анализ современного состояния проблемы

Проведен патентно-информационный поиск и обобщены сведения о принципах и перспективах создания продуктов для рационального питания. Проанализированы современный ассортимент и технологии хлебобулочных и мучных кондитерских изделий для питания различных групп населения. Освещены вопросы по улучшению функциональных свойств хлебопекарной продукции за счет применения нетрадиционных видов сырья, в том числе пророщенных культур, и анализу адекватности их химического состава. Проведена оценка рационов питания лиц, проживающих в районах с неблагоприятными факторами среды обитания. На основе проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Глава 2. Организация работы. Объекты и методы исследований

Исследования проводили согласно схеме (рисунок 1). Объектами исследований были: мука ржаная хлебопекарная обдирная (ГОСТ 7045-2017), мука пшеничная хлебопекарная первого сорта (ГОСТ 26574-2017), мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта (ГОСТ 26574-2017), мука полбяная цельносмолотая (ТУ 9293-014-89751414-11), мука из цельносмолотого зерна пшеницы (ТУ 9214-126-02068108-2008), пророщенная гречиха (ТУ 01.11.49.111-498-02068108-2018), порошки из семян тыквы (ТУ 01.12.60.160-504-02068108-2019), из семян пажитника (ТУ 01.28.19.000-505-02068108-2019), из корня подсолнечника (ТУ 01.30.10-506-02068108-2019), дрожжи хлебопекарные прессованные (ГОСТ Р 54731-2011), маргарин (ГОСТ 32188-2013), масло сливочное (ГОСТ 32261-2013), масло кукурузное (ГОСТ 8808-2000), гидролизованный соевый лецитин VEROLEC HE-60 (ГОСТ 32052-2013), стандартный соевый лецитин VEROLEC FLS (ГОСТ 52052-2013), сахар белый (ГОСТ 33222-2015), соль пищевая (ГОСТ Р 51574-2018), мёд натуральный

(ГОСТ 19792-2017), меланж (ГОСТ 30363-2013), тыква (ГОСТ 7975-2013), карбонат аммония (ГОСТ 55580-2013), вода питьевая (ГОСТ Р 51232-98, СанПиН 2.1.4.1074-01).

Экспериментальные исследования проводились на кафедре «Технология хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств», «Биохимия и биотехнология», в аналитическом центре стратегического развития научных исследований ФГБОУ ВО «ВГУИТ», научно-исследовательской лаборатории «Электрофизические методы измерений» ФГБОУ ВО «ВГУ», в межрегиональном научно-исследовательском центре инновационных технологий хлебопечения на базе АО «Хлебозавод № 7», в условиях автономной некоммерческой организации «Центр биотической медицины» доктора А. В. Скального.

В работе применяли органолептические, микробиологические, физико-химические, структурно-механические, реологические методы анализа сырья, полуфабрикатов и изделий.

Анализ химического состава сырья и готовых изделий осуществляли по следующим методикам: содержание белка - по ГОСТ 10846-91, водорастворимых углеводов – по ГОСТ Р 51636-2000, жира – по ГОСТ 32905-2014, пищевых волокон – по ГОСТ 31675-2012. Минеральный состав (калий, кальций, магний, фосфор, железо, цинк, селен) исследовали по ГОСТ 32343-2013, 26657-97, Р 55449-2013, витаминный состав (тиамин, рибофлавин, пантотеновая кислота, пиридоксин, никотиновая кислота, токоферол) – по ГОСТ 29138-91, 29139-91, 31483-2012, Р 53494-2009, 29140-91, Р 54634-2011. Аминокислотный состав белка определяли методом ионообменной хроматографии на автоматическом аминокислотном анализаторе ААА Т-339 («МИКРОТЕХНА», Чехия), количество триптофана – по методу Лоренцо-Андрю и Франдзена.

Биологическую ценность белков устанавливали путем расчета аминокислотного сора, основанного на сравнении аминокислотного состава изучаемого белка со справочной шкалой аминокислот идеального белка, установленной ФАО/ВОЗ.

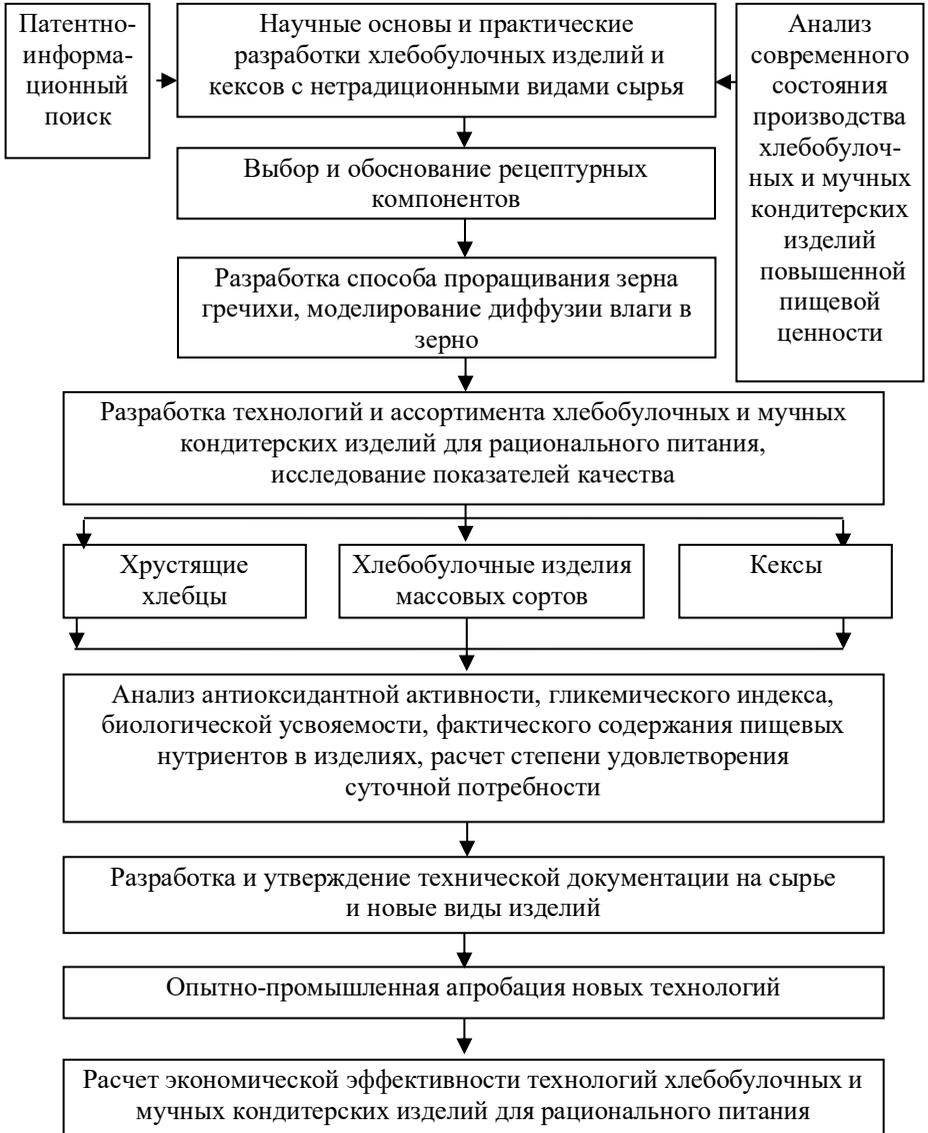


Рисунок 1 – Схема экспериментальных исследований

Определение элементного состава и микроструктуры зерна гречихи проводили с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6380LV, системы рентгеновского энергодисперсионного анализа INCAx-sight (Jeol, Япония). Изучение содержания микроэлементов и тяжелых металлов в пророщенной гречихе проводили на квадрупольном масс-спектрометре Nexion 300 D и на атомно-эмиссионном спектрометре Optima 2000 DV (PerkinElmer, США) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП). Реологические свойства полуфабрикатов исследовали на ротационном вискозиметре «Реотест-2».

В готовых изделиях определяли органолептические и физико-химические показатели по стандартным методикам. Структурно-механические свойства мякиша хлебобулочных изделий и кексов изучали на автоматизированном пенетрометре АП-4/2, прочность хрустящих хлебцев – на приборе Строганова. Суммарное содержание антиоксидантов – амперометрическим методом на анализаторе «ЦветЯуза-01-АА». Гликемический индекс изделий определяли с помощью системы контроля уровня глюкозы в крови «Diasont», микробиологические показатели (КМАФАнМ, дрожжи и плесени) определяли прямым подсчетом колоний с применением дифференциально-диагностических сред – по ГОСТ 10444.15-94, 10444.12-2013. Стандартизованную биологическую ценность, аминокислотный скор, коэффициент различия аминокислотного сора, индекс незаменимой аминокислоты определяли методом биотестирования на инфузориях *P. caudatum*.

Пищевую и энергетическую ценность изделий, степень покрытия суточной потребности в нутриентах рассчитывали по программе «Комплекс», разработанной на кафедре ТХКМЗП ФГБОУ ВО «ВГУИТ», в основе которой заложена методика, утвержденная ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи». Содержание витаминов в изделиях рассчитывали с учетом коэффициентов сохранности.

Для создания геометрической модели зерна гречихи использовали систему 3D-сканирования, основанную на фотограм-

метрии OpenScan. В пакете Ansys Student получено решение задачи изотермической нестационарной изотропной диффузии методом конечных элементов. В качестве метода оптимизации целевой функции (суммы квадратов отклонений расчетных данных от экспериментальных) использовали нелинейный метод наименьших квадратов из библиотеки MathWorks Matlab®. Относительная погрешность расчетов не превысила 15 %.

Технико-экономические показатели рассчитывали по методикам определения экономической эффективности в хлебопекарной отрасли.

Глава 3 Разработка технологии и нового ассортимента хрустящих хлебцев из смеси ржаной и пшеничной муки и нетрадиционных видов сырья

В связи с популяризацией здорового образа жизни и детоксикацией организма актуальны разработки в области «здоровых перекусов», к которым относятся хрустящие хлебцы. Поскольку большая часть ассортимента представлена традиционными изделиями, в работе предложено обогащение этой категории хлебобулочных изделий за счет внесения пророщенной гречихи и порошков из семян тыквы, пажитника и корня подсолнечника.

Зерна гречихи подвергали набуханию с заданным гидромодулем при температуре 20 ± 2 °С в течение 2 ч и проращиванию до появления проростков длиной не более 1,5 мм. Набухание осуществляли двумя способами: в водопроводной воде и воде, обработанной ультразвуком на лабораторной установке УЗК-4.003 с плотностью звуковой энергии 15 кДж/м^3 и частотой 21 кГц в течение 20 мин. Установлено, что применение ультразвука на этапе подготовки воды при набухании зерен гречихи интенсифицировало процесс их проращивания на 4,5 ч.

Анализ электронных фотографий микроструктуры зерен гречихи при увеличении 1100 раз методом масс-спектрометрии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой выявил, что нативное зерно (рисунок 2, а) имеет упорядоченную микроструктуру крахмальных зерен в виде пятиугольников, а при проращивании (рисунок 2, б, в) крахмальные зерна приобретали округлую форму, что связано с появлением свободной влаги, которая увеличивает проницаемость клеточных стенок

и поглощение воды, вследствие чего происходит интенсификация дыхания зерна и его метаболизма. В результате установлено, что пророщенное зерно гречихи обладает большим энергетическим потенциалом, содержит все необходимые жизненные компоненты.

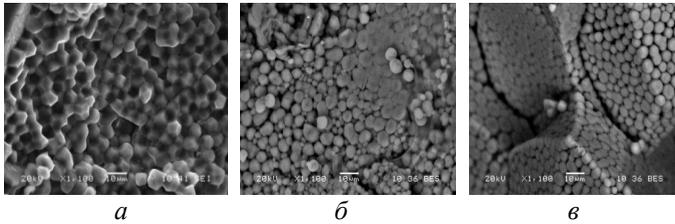


Рисунок 2 - Микроструктура зерна гречихи нативного (*a*) и пророщенного в воде водопроводной (*б*) и обработанной ультразвуком (*в*)

В процессе проращивания происходило увеличение содержания химических элементов (кальция, йода, калия, магния, фосфора, цинка) от 0,07 до 828 мкг/г по сравнению с нативными зёрнами гречихи (таблица 1).

Таблица 1 - Элементный состав зерна гречихи

Наименование элемента	Содержание элементов в образцах зерен гречихи, мкг/г		Увеличение содержания элементов, мкг/г
	Нативные	Пророщенные	
Кальций	127±13	534±64	+409
Медь	4,67±0,47	5,46±0,66	+0,79
Железо	31,86±3,19	32,15±3,86	+0,29
Йод	0,21±0,025	0,28±0,041	+0,07
Калий	3792±379	4005±481	+213
Магний	1983±198	2355±283	+372
Натрий	4,26±0,43	142±17	+137,74
Фосфор	3937±394	4765±572	+828
Селен	0,005±0,01	0,09±0,013	+0,08
Стронций	0,38±0,046	2,09±0,31	+1,71
Цинк	19,98±2	23,33±0,5	+3,37

Для оценки динамики изменения распределения влагосодержания по объему гречихи в разные моменты времени разработана математическая модель диффузии влаги в нем:

$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t} = \nabla \cdot D \nabla c \\ c|_{t=0} = c_0 \\ c|_{\Omega} = c_{\text{пр}} \end{cases}, \quad (1)$$

где c – влагосодержание в точке пространства, $1/\text{м}^3$; t – время, с; D – коэффициент эффективной диффузии $\text{м}^2/\text{с}$, c_0 – начальное влагосодержание, $c_{\text{пр}}$ – предельное влагосодержание.

Результатом решения (1) является трехмерное поле влагосодержания в заданный момент времени (рисунок 3).

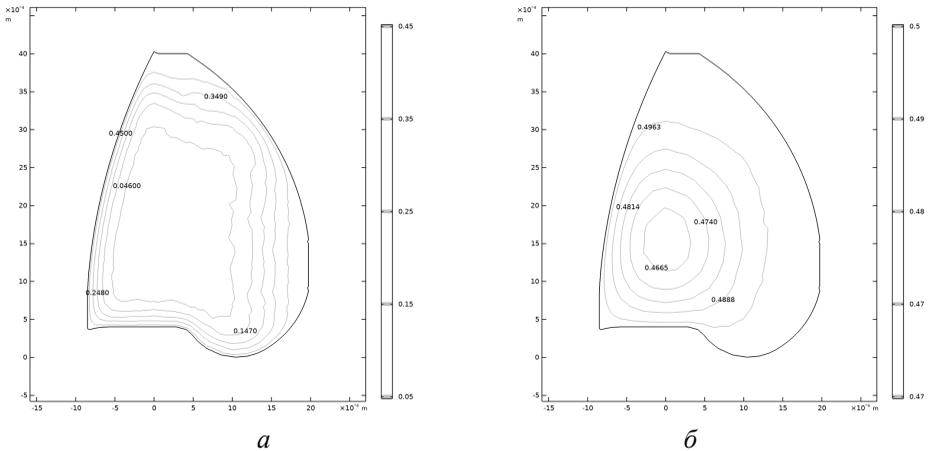


Рисунок 3 – Поле степени набухания зерна гречихи в сечении плоскостью $x=0$, при (а) $t = 300$ с, (б) $t = 7000$ с

Для инженерных расчетов получено решение одномерной задачи диффузии, позволяющее прогнозировать среднее (по толщине) влагосодержание:

$$\bar{c}(t) = c_{\text{пр}} - (c_{\text{пр}} - c_0) \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D}{4h^2} t\right), \quad (2)$$

где h – размер зерна, м.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных (рисунок 4) показало возможность расчета с помощью пространственной и одномерной модели с погрешностью, не более 15 и 18 % соответственно.

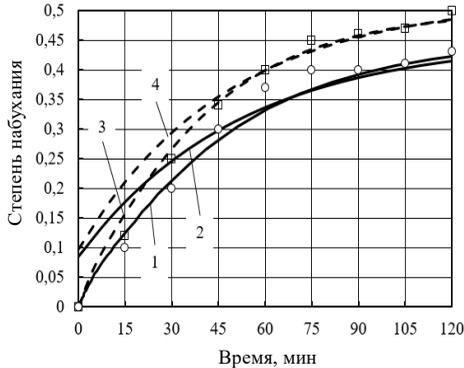


Рисунок 4 – Сравнение расчетных и экспериментальных данных динамики среднеобъемного влагосодержания зерна гречихи: 1 - водопроводная вода; пространственная модель, 2 - водопроводная вода, одномерная модель; 3 - УЗ вода, пространственная модель; 4 - УЗ вода, одномерная модель

Получено уравнение для определения продолжительности замачивания зерна до заданного значения среднего влагосодержания:

$$t = -\frac{4h^2}{\pi^2 D} \ln \left(\frac{\pi^2 c_{\text{пр}} - \bar{c}(\tau)}{8 c_{\text{пр}} - c_0} \right). \quad (3)$$

Далее измельченную пророщенную гречиху в количестве 15-45 % (интервал варьирования 10 %) к массе муки применяли в рецептуре хрустящих хлебцев из смеси ржаной и пшеничной муки. На основании анализа органолептических и физико-химических показателей изделий установили рациональную дозировку в количестве 35 %.

С целью расширения ассортимента обогащенных хлебобулочных изделий установили рациональные дозировки порошков из семян тыквы, пажитника и корня подсолнечника в рецептурах хрустящих хлебцев из смеси ржаной и пшеничной муки с добавлением пророщенной гречихи – 10,0; 1,0 и 1,5 % соответственно.

Установлено, что выявленные дозировки обогатителей способствовали улучшению качества изделий и повышению их функциональных свойств: прочность хлебцев увеличивалась на 6-12 %, суммарная антиоксидантная активность возрастала в 2,5-5,1 раза, гликемический индекс снижался в 1,1-1,9 раз, биологическая ценность повышалась в 1,1-1,3 раза.

Потребление 100 г обогащенных хрустящих хлебцев обеспечивает удовлетворение суточной нормы потребления белка в среднем на 15 %, жира - на 3 %, углеводов - на 16 %, пищевых волокон на - 42 %, минеральных веществ в интервале 3-37 %, витаминов в интервале 7-29 % по сравнению с контролем.

По результатам исследований разработаны пакеты технической документации на обогащенные хрустящие хлебцы повышенной пищевой ценности «Грация» (ТУ 10.72.11.130-497-02068108-2018) «Элегия» (ТУ 10.72.11.130-507-02068108-2019), «Дуэт» (ТУ 10.72.11.130-508-02068108-2019), «Ритм» (ТУ 10.72.11.130-509-02068108-2019).

Глава 4 Совершенствование рецептурного состава массовых сортов хлебобулочных изделий за счет внесения гидролизованного соевого лецитина VEROLEC HE-60

Хлебобулочные изделия массовых сортов представлены в рационе всех групп населения. Поэтому обогащение такой продукции нетрадиционными видами сырья для повышения ее функциональных свойств является актуальным.

Применение гидролизованного лецитина в производстве хлебобулочных изделий способствует эмульгированию жиров и липидов, эффективной гидратации белков, усилению связи глиадина и глютенина. В организме человека лецитин способствует равномерному распределению витаминов, аминокислот в крови, нормализации состава желчи в печени, что обеспечивает регуляцию детоксикационной системы.

В работе представлено обоснование применения гидролизованного соевого лецитина VEROLEC HE-60 в рецептурах традиционных видов хлебобулочных изделий из пшеничной муки первого сорта – хлеба (ГОСТ Р 58233-2018) и булки городской (ГОСТ 27844-88) согласно техническому заданию ООО «Ласенор Русия».

Путем исследования органолептических, физико-химических, структурно-механических показателей качества теста и изделий выявлено, что рациональная дозировка гидролизованного соевого лецитина VEROLEC HE-60 составила – 2,5 % и 1,5 % соответственно для хлеба и булки. Обоганитель вносили в тесто в виде эмульсии, рекомендованный способ приготовления: для хлеба – безопарный, для булки – опарный.

Сравнение соевых лецитинов VEROLEC HE-60 и VEROLEC FLS (стандартный) по результатам анализа показателей качества хлебобулочных изделий позволило выявить преимущество гидролизованного, что связано с более высокими эмульгирующими свойствами обогапителя: его гидрофильные группы связываются с молекулами воды, в результате чего повышается стабильность теста, уменьшается разжижение теста и повышается его эластичность. На основании микробиологических показателей в предлагаемых изделиях из пшеничной муки первого сорта установлен срок сохранения свежести в упакованном виде: для хлеба - 84 ч, для булки - 96 ч.

В результате разработаны пакеты технической документации на хлеб пшеничный (ТУ 10.72.11-529-02068108-2020) и булку городскую (ТУ 10.72.11-530-02068108-2020) с гидролизованным соевым лецитином VEROLEC HE-60.

Глава 5 Разработка нового ассортимента кексов для рационального питания

Для повышения пищевой ценности и придания функциональных свойств мучным кондитерским изделиям - кексам предложено использовать сырье с богатым химическим составом.

В качестве контроля использовали рецептуру кекса «Столичный» (ГОСТ 15052-2014). В опытные образцы вносили измельченную на диспергаторе мякоть тыквы в количестве 40-60 % и 25 % муки из цельносмолотого зерна пшеницы к общей массе муки пшеничной высшего сорта. Отмечено, что максимальная дозировка мякоти тыквы, при которой изменение органолептических и физико-химических свойств было минимальным, составила 50 %.

Исследование влияния полбяной цельносмолотой муки в количестве 10-35 % (интервал варьирования 5 %), кукурузного масла и меда натурального на показатели качества теста и кексов выяви-

ло, что благодаря внесению обогатителей улучшались органолептические показатели качества изделий. Плотность мякиша увеличивалась от 2,6 до 64,1 %, удельный объем уменьшался на 0,4-28,7 %, наибольшая общая деформация мякиша была при добавлении 30 % полбяной муки (таблица 2), поэтому данная дозировка принята рациональной.

Таблица 2 - Показатели качества обогащенных кексов

Наименование показателей	Значение показателей в образцах с внесением полбяной цельнозерновой муки, %						
	0	10	15	20	25	30	35
Массовая доля влаги, %	20,4	19,3	19,4	19,2	18,9	18,8	18,2
Щелочность, град	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,6
Плотность, г/см ³	0,39	0,40	0,45	0,45	0,48	0,50	0,64
Удельный объем, см ³ /г	2,56	2,55	2,24	2,24	2,20	2,15	1,57
Деформация, ед. пр.	$\Delta H_{\text{общ}}$	74,0	78,0	80,0	83,0	86,0	88,0
	$\Delta H_{\text{пл}}$	67,0	70,0	71,0	74,0	76,0	77,0
	$\Delta H_{\text{упр}}$	7,0	8,0	9,0	9,0	10,0	11,0
	$\Delta H_{\text{пл}}^{\text{отн}}$	90,5	89,7	88,8	89,2	88,4	87,5
	$\Delta H_{\text{упр}}^{\text{отн}}$	9,5	10,3	11,2	10,8	11,6	12,5

В результате разработаны пакеты технической документации на кексы «Илья Муромец» (ТУ 10.72.12.114-422-02068108-2017), «Крепыш» (ТУ 10.72.12.144-446-02068108-2018).

Согласно результатам оценки стандартизованной относительной биологической ценности *P. caudatum* установлено, что исследуемый показатель опытных образцов увеличился по сравнению с контролем (рисунок 5), что связано с химическим составом обогатителей: цельнозерновой пшеничной и полбяной муки

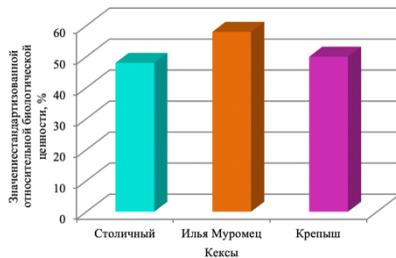


Рисунок 5 – Значение стандартизованной относительной биологической ценности кексов

(благодаря разовому помолу в муке сохраняются все части зерна, в том числе зародыш, в котором содержится большое количество белков, определяющих биологическую ценность).

Внесение нетрадиционных видов сырья в рецептуру кексов из пшеничной муки высшего сорта способствовало увеличению суммарной антиоксидантной активности изделий на 53-59 %, уменьшению гликемического индекса – на 3-17 %, увеличению биологической ценности на 4-21 %.

Выявлено, что потребление 100 г предлагаемых кексов обеспечит степень удовлетворения суточной потребности организма человека в среднем в белке на 8,7 %, жире - на 18 %, углеводах – на 10 %, пищевых волокнах - на 9 %, минеральных веществах - на 31 %, витаминах - на 9,8 %.

Таким образом, полученные результаты дают возможность сделать обоснованный вывод об эффективности применения нетрадиционных видов сырья в производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий для рационального питания. Использование предлагаемых обогатителей повышает пищевую ценность продукции, ее функционально-технологические свойства, обеспечивает связывание и выведение токсичных веществ, покрытие пищевых нутриентов в организме человека, тем самым способствует минимизации вредного воздействия неблагоприятных факторов среды обитания на здоровье граждан. Следовательно, предлагаемые изделия целесообразно включать в рацион питания всех групп населения, особенно людей, проживающих в районах с экологически неблагоприятной обстановкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен патентно-информационный поиск и научно обоснована целесообразность применения гидролизованного соевого лецитина VEROLEC HE-60, пророщенной гречихи, порошка из семян тыквы и пажитника, корня подсолнечника, кукурузного масла, мякоти тыквы, муки из цельносмолотого зерна пшеницы, крахмальной высокосахаренной патоки, муки полбяной цельносмолотой, меда натурального в производстве хлебобулочных изделий и кексов, рекомендованных для включения в сбалансиро-

рованный по химическому составу рацион питания населения, в том числе проживающего в зонах с неблагоприятными факторами среды обитания.

2. Определены рациональные параметры проращивания зерна гречихи: замачивание в течение 2 ч в воде, прошедшей ультразвуковую обработку, и проращивание в течение 12 ч. Выявлено, что ультразвуковая обработка воды (плотность звуковой энергии 15 кДж/м³, частота 21 кГц, продолжительность 20 мин) способствует увеличению энергии прорастания зерна на 6,5 % и увеличению содержания в нем незаменимых аминокислот на 6-62 %, минеральных веществ в 1,2-33,3 раза.

3. Разработана динамическая пространственная математическая модель изотермической изотропной диффузии воды в зерно гречихи, описывающая процесс степени набухания зерна в диффузионном приближении и позволяющая оценить динамику изменения степени набухания, характер распределения влаги в разные моменты времени с погрешностью, не превышающей 15 и 18 % для водопроводной воды и обработанной ультразвуком, соответственно, определить продолжительность замачивания зерна до заданного значения среднего влагосодержания. Идентифицированы коэффициенты эффективной диффузии для воды водопроводной и обработанной ультразвуком.

4. Установлена эффективность применения гидролизованного соевого лецитина VEROLEC HE-60 в технологии массовых сортов хлебобулочных изделий из пшеничной муки первого сорта, определены его рациональные дозировки: для хлеба - 2,5 %, для булки городской - 1,5 % к массе муки с внесением в тесто в виде эмульсии; установлены рациональные способы приготовления полуфабрикатов, при которых качество изделий было наилучшим: для хлеба – безопарный, для булки – опарный.

5. Определены рациональные дозировки обогатителей для хрустящих хлебцев: пророщенная гречиха – 35 %, порошки из семян тыквы – 10 %, из семян пажитника – 1,0 %, из корня подсолнечника – 1,5 %; для кексов: мякоть тыквы – 50 %, полбяная цельносомлотая мука – 30 %, способствующие увеличению суммарной антиоксидантной активности изделий на 53-81 %, снижению значения гликемического индекса на 3-48 %, улучшению их

перевариваемости и усвояемости. Установлено, что употребление 100 г разработанных изделий обеспечит степень удовлетворения суточной нормы потребления в белке на 9-15 %, жире – 3-18 %, углеводах – 10-16 %, пищевых волокнах – 9-42 %, витаминах – 7-29 %, минеральных веществах – 3-37 %, энергетической ценности – 15-22 %.

б. Разработаны и утверждены пакеты технической документации на сырье, хлебобулочные изделия и кексы для рационального питания (12 комплектов); предлагаемые технологические решения успешно прошли апробацию в условиях промышленных предприятий: АО «Хлебозавод № 7» (г. Воронеж), АО «Лимак» (г. Липецк). Экономический эффект от реализации 1 т продукции составит от 23,08 до 98,87 тыс. р. в зависимости от вида разработанных изделий. Приведенные технологии и рецептуры хлебобулочных изделий и кексов являются основой развития отечественного производства и укрепления продовольственного рынка России.

Основные публикации по диссертационной работе

Монография

1. Пономарева, Е. И. Практические рекомендации по совершенствованию технологии диетических хлебобулочных изделий: монография / Е. И. Пономарева, С. И. Лукина, Н. Н. Алехина, А. Ю. Кривошеев, О. Б. Скворцова. – Воронеж : ВГУИТ, 2022. – 185 с. (23,13 п.л.; лично соискателем – 4,6 п.л.).

Статья в базе Scopus

2. Ponomareva, E. I. Investigation of germinated crops elemental composition / E. I. Ponomareva, N. N. Alekhina, S. I. Lukina, Yu. P. Gubareva, O. B. Skvortsova, D. A. Tereshenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 640 (2021) 022025. – 2021. – P. 1-5. (0,63 п.л.; лично соискателем - 0,11 п.л.).

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

3. Пономарева, Е. И. Разработка новой рецептуры кексов повышенной пищевой ценности / Е. И. Пономарева, С. И. Лукина, О. Б. Скворцова // Вестник ВГУИТ. – 2018. – № 4 (74). – С. 114-118. (0,63 п.л.; лично соискателем – 0,2 п.л.).

4. Пономарева, Е. И. Разработка рецептуры хрустящих хлебцев, обогащённых пророщенной гречихой и кукурузным маслом / Е. И. Пономарева, Х. Ю. Боташева, Н. Н. Алехина, С. И. Лукина, О. Б. Скворцова // Хлебопродукты. – 2019. – № 8. – С. 31-33. (0,38 п.л.; лично соискателем – 0,08 п.л.).

5. Пономарева, Е. И. Изменение пищевой ценности зерна гречихи при проращивании с использованием обработанной ультразвуком воды / Е. И. Пономарева, Н. Н. Алехина, О. Б. Скворцова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 1(373). – С. 30-33. (0,5 п.л.; лично соискателем - 0,2 п.л.).

6. Барабашов, Е. Б. Определение рациональной дозировки гидролизованного лецитина VEROLEC HE-60 в производстве хлеба из пшеничной муки / Е. Б. Барабашов, Л. А. Ревина, Е. И. Пономарева, С. И. Лукина, Н. Н. Алехина, О. Б. Скворцова // Хлебопродукты. – 2020. – № 9. – С. 47-49. (0,38 п.л.; лично соискателем - 0,06 п.л.).

7. Барабашов, Е. Б. Выбор эффективного способа внесения гидролизованного лецитина VEROLEC HE-60 в тесто для хлебобулочных изделий / Е. Б. Барабашов, Л. А. Ревина, Е. И. Пономарева, С. И. Лукина, Н. Н. Алехина, О. Б. Скворцова // Хлебопродукты. – 2020. – № 10. – С. 44-46. (0,38 п.л.; лично соискателем - 0,06 п.л.).

8. Скворцова, О. Б. Выбор рациональной дозировки порошка из семян тыквы в рецептуре хрустящих хлебцев / О. Б. Скворцова, П. К. Гарькина, Е. И. Пономарева // Хлебопродукты. – 2020. – № 12. – С. 50-51. (0,25 п.л.; лично соискателем - 0,08 п.л.).

Изобретения

9. Патент № 2679360 РФ, МПК А21D 13/80. Способ производства кексов / Пономарева Е. И., Лукина С. И., Паринова А. В., Скворцова О. Б.; заявитель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»; № 2017143121; заявл. 11.12.2017; опубл. 07.02.2019. (1,1 п.л.; лично соискателем - 0,28 п.л.).

10. Патент № 2708053 РФ, МПК А21D 2/36. Способ производства хрустящих хлебцев / Пономарева Е. И., Алехина Н. Н., Лукина С. И., Скворцова О. Б.; заявитель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»; № 2019107161; заявл. 14.03.2019; опубл. 04.12.2019. (0,88 п.л.; лично соискателем - 0,22 п.л.).

11. Патент № 2737669 РФ, МПК А21D 2/36. Способ производства обогащенных хрустящих хлебцев / Пономарева Е. И., АLEXИНА Н. Н., Лукина С. И., Скворцова О. Б.; заявитель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»; № 2020111495; заявл. 19.03.2020; опубл. 02.12.2020. (0,88 п.л.; лично соискателем – 0,22 п.л.).

12. Патент № 2740580 РФ, МПК А21D 2/00, А21D 8/02. Способ производства хлеба из пшеничной муки первого сорта с гидролизованным соевым лецитином / Барабашов Е. Б., Ревина Л. А., Пономарева Е. И. [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»; № 2020111738; заявл. 23.03.2020; опубл. 15.01.2021. (0,88 п.л.; лично соискателем - 0,15 п.л.).

13. Патент № 2740585 РФ, МПК А21D 2/00, А21D 8/02. Способ производства булочного изделия из пшеничной муки первого сорта с гидролизованным соевым лецитином / Барабашов Е. Б., Ревина Л. А., Пономарева Е. И. [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»; № 2020112055; заявл. 25.03.2020; опубл. 15.01.2021. (0,88 п.л.; лично соискателем - 0,15 п.л.).

Всего по результатам исследований опубликовано **43** научные работы.

Подписано в печать . . . 2022.
Усл. печ. л. 1.0. Формат 60×84 1/16.
Тираж 100 экз. Заказ

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»)
Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
Адрес университета и отдела полиграфии
394036, Воронеж, пр. Революции, 19