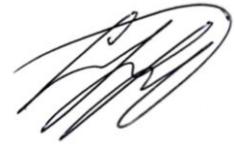


На правах рукописи



СЫЗРАНЦЕВ ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ

**МОДЕРНИЗАЦИЯ АППАРАТУРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПРОИЗВОДСТВА ОБОГАЩЕННОГО ХЛЕБА
В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном казённом военном образовательном учреждении высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва» Минобороны России, г. Санкт-Петербург (ФГКВОУ ВО ВАМТО)

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Романчиков Сергей Александрович
ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва»

Официальные оппоненты: **Нугманов Альберт Хамед-Харисович**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева», профессор

Федоров Александр Валентинович
доктор технических наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт жиров», заместитель директора по научной работе

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет», г. Майкоп

Защита состоится «12» марта 2026 г. в 14 часов 00 минут на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 37.2.007.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» по адресу: г. Калининград, ул. Профессора Баранова, д. 43, Зал заседаний диссертационных советов (ауд. 101).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» по адресу:
https://klgtu.ru/upload/dissertations/syzrancev2/syzrancev2_diss.pdf

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой печатью учреждения, следует направлять по адресу: 236022, г. Калининград, Советский проспект, д. 1, ФГБОУ ВО «КГТУ», диссертационный совет 37.2.007.03.

Автореферат разослан «__» _____ 2026 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций
на соискание ученой степени кандидата технических наук,
на соискание ученой степени доктора технических наук,
37.2.007.03, д.т.н., доцент



О.В. Агеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В целях реализации Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации (РФ), Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года, Стратегии научно-технологического развития РФ, Стратегии повышения качества пищевой продукции до 2030 года, Стратегии национальной безопасности требуется разработка новых технических и технологических решений совершенствования процессов и аппаратов пищевых производств, позволяющих обеспечить компактные группы населения в особых условиях проживания обогащенным хлебом. Правильно организованное питание – один из главных факторов укрепления здоровья и профилактики заболеваемости, устойчивости к различным нагрузкам и воздействиям в повседневной обстановке населения, а также восстановления сил в период заболевания или восстановления после полученных травм, а также в условиях, требующих адаптации организма к окружающей среде.

Исследования А.Х.Х. Нугманова, Г.О. Магомедова, И.А. Рогова, С.А. Романчикова, В.А. Тутельяна, А.Ф. Федорова и других легли в основу обоснования требований к совершенствованию процессов и аппаратов для производства продуктов питания, обеспечивающих сохранение нутриентов исходного сырья и минимальное образование меланоидинов и канцерогенов в готовых изделиях.

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых разработке нового технологического оборудования для производства хлеба, существующее аппаратное обеспечение не обеспечивает возможность производства обогащенного хлеба требуемого качества в установленные сроки для питания компактных групп населения в особых условиях проживания.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о наличии противоречия между потребностью организации производства обогащенного хлеба и отсутствием аппаратного обеспечения для организации питания небольшого количества людей в указанных условиях, а также научно-методических подходов модернизации их конструкций и процессов эксплуатации.

Этим определяется актуальность темы диссертации и цель ее разработки.

Цель исследования – повышение эффективности производства обогащенного хлеба в особых условиях, за счет модернизации аппаратного обеспечения электромагнитного и акустического действия для смешивания нетрадиционного сырья и выпечки готовых изделий.

Научная задача исследования заключается в обосновании модернизации аппаратного обеспечения электромагнитного и акустического действия производства обогащенного хлеба в особых условиях проживания населения, на основе методологии и методов электрофизики, газодинамики, теории машин и механизмов, физико-химического анализа, методов исследования операций и процессов, теории планирования эксперимента.

Объект исследования. Аппаратное обеспечение и процессы производства обогащенного хлеба в особых условиях.

Предмет исследования. Математические модели и методики обоснования модернизации параметров и технических характеристик аппаратного обеспечения производства обогащенного хлеба в особых условиях.

Границы исследования. Разработка научно-методического подхода обоснования использования физических полей (теплого, ультразвукового и инфракрасного) для модернизации эксплуатационных характеристик аппаратного обеспечения производства обогащенного хлеба в обособленных условиях проживания (вахтовые поселки, геолого-разведочные партии, пункты постоянной дислокации подразделений МЧС и других силовых структур) Крайнего Севера, Арктики, удаленного таежного и горного поселения и др.

Для достижения цели решались следующие основные задачи:

1. Проанализированы существующие проблемы производства хлебобулочных изделий в особых условиях для обеспечения потребителей обогащенным хлебом.

2. Разработана методика обоснования использования воздействия физических полей в конструктивных элементах рамной мешалки и конвейерной хлебопекарной печи электромагнитного действия с устройствами автоматизированного регулирования.

3. Обоснованы математические модели конструкций рамной мешалки и конвейерной хлебопекарной печи электромагнитного действия с устройствами автоматизированного регулирования.

4. Проведена экспериментальная проверка возможности коррекции рецептов, модернизированного аппаратного обеспечения электромагнитного действия производства обогащенного хлеба в особых условиях.

5. Оценена технико-экономическая эффективность применения аппаратного обеспечения электромагнитного действия производства обогащенного хлеба в особых условиях.

6. Разработаны практические рекомендации по реализации результатов исследования.

Научная новизна диссертации состоит в следующем:

1. Впервые для условий компактного и обособленного проживания (вахтовые поселки, районы Крайнего Севера, Арктики и др.) системно исследованы и выявлены технологические ограничения существующего аппаратного обеспечения производства хлеба. Установлено, что оно не позволяет достичь требуемой однородности теста при использовании обогащающих добавок, а процессы тепловой обработки приводят к значительному меланоидинообразованию и повышенным энергозатратам, что обуславливает необходимость его модернизации. (п. 20. Процессы и аппараты пищевых производств).

2. Разработана и экспериментально обоснована рецептура обогащенного хлеба на основе нетрадиционного сырья (измельченной яичной скорлупы и пектиновых волокон из топинамбура) и скорректирована технология его производства. Впервые для данной рецептуры теоретически и экспериментально подобраны технологические режимы, исключаящие негативное воздействие щавелевой кислоты на пектиновые вещества, что обеспечивает сохранение пищевой ценности продукта без снижения производительности оборудования.

(п. 21. Основные технологические процессы пищевых производств и методы их исследования).

3. Предложена и научно обоснована принципиально новая конструкция рамной мешалки, модернизированная за счет интеграции магнитострикционных элементов, генерирующих ультразвуковое поле (частота $22 \pm 1,65$ кГц, УЗД 140 дБ). Новизна конструкции, подтвержденная патентом РФ № 216005, заключается в смещении полуосей разомкнутого сердечника, что обеспечивает турбулизацию и кавитационное воздействие во всем объеме рабочей камеры и гарантирует получение высокооднородных белково-жировых эмульсий независимо от структуры ингредиентов (п. 24. Машины и агрегаты пищевых производств, исследование их динамики и взаимодействия с окружающей средой; системный подход при создании технологических линий, оценка стабильности их функционирования).

4. Разработана и смоделирована конструкция модернизированной пекарной камеры для электроконтактной выпечки с одновременным воздействием инфракрасного излучения ($\lambda = 4-9$ мкм) и принудительной конвекцией. Впервые научно обоснованы технологические параметры, позволяющие совместить процессы интенсивного теплоподвода (электроконтактный и ИК-нагрев) для сокращения времени выпечки до 7,2 минут со значительным снижением меланоидинообразования и сохранением нутриентов в готовом продукте. Новизна решения подтверждена патентом РФ № 214961. (п. 25. Новые принципы построения технологических процессов их и конструктивная проработка).

5. На основе комплексного применения методологий электрофизики, газодинамики и теории тепломассопереноса разработан научно-методический подход к модернизации аппаратного обеспечения. Его практическая реализация позволила создать технологическую линию с новыми принципами построения процессов, обеспечивающую:

повышение пищевой ценности хлеба (содержание пищевых волокон на 15-22 %, кальция – в 2,2 раза);

сокращение габаритных размеров оборудования в 2,1-3,3 раза;

снижение энерго- и трудозатрат на 9-17 %.

(п. 30. Продовольственное обеспечение населения, новые подходы и стратегические решения).

Теоретическая значимость диссертации заключается в разработке научного аппарата обоснования эксплуатационных характеристик модернизированного аппаратного обеспечения для производства хлеба на основе эффектов синергии физических полей для компактных групп населения в обособленных условиях проживания, который является дальнейшим развитием методов научного обоснования возможностей разработки новых образцов аппаратов пищевых производств на основе применения синергии полей.

Практическая значимость заключается в повышении эффективности применения процессов и аппаратов приготовления функционального питания для компактных групп населения в обособленных условиях проживания за счет разработки рекомендаций по корректировке рецептур, конструкций рамной мешалки и конвейерной хлебопекарной печи с устройствами

автоматизированного регулирования процесса функционирования, обеспечивающих улучшение органолептических показателей на 12-16 %, повышение ее пищевой ценности готовой продукции на 15-27 %, снижение продолжительности приготовления продуктов функционального питания 1,2-5 раз и энерго- и трудозатрат на 9-17 %; меланоидинообразования и канцерогенов; в расширении ассортимента хлебобулочных изделий.

Обоснованность и достоверность теоретических положений, выводов и рекомендаций исследования подтверждаются использованием реальных аппаратов в организации функционального питания; применением апробированных методов теоретических и экспериментальных исследований; статистической оценкой полученных результатов с заданной точностью; сходимостью результатов экспериментальных исследований с данными натуральных испытаний технологического оборудования; внедрением предложенных аппаратов в практику организации функционального питания.

На защиту выносятся:

1. Методика обоснования использования воздействия физических полей в конструктивных элементах рамной мешалки и конвейерной хлебопекарной печи с устройствами автоматизированного регулирования. *Научная новизна* методики состоит в обосновании конструкций рамной мешалки и конвейерной хлебопекарной печи на основе математического моделирования процессов ультразвуковых капиллярных эффектов, кавитации, инфракрасного излучения и электроконтактной выпечки с учетом изменения продолжительности созревания теста под влиянием диффузионных процессов в гидродинамическом пространстве, динамики и направления тепломассопереноса при комплексном тепловом воздействии на тестозаготовку.

2. Математические модели конструкций модернизированных рамной мешалки и конвейерной хлебопекарной печи с устройствами автоматизированного регулирования. *Научная новизна* математических моделей основывается на применении физических принципов и теории дифференциальных уравнений для исследования влияния эксплуатационных параметров газодинамических процессов теплопроводности и теплопередачи конструктивных элементов на показатели производительности рамной мешалки и конвейерной хлебопекарной печи с устройствами автоматизированного регулирования процессов функционирования.

3. Результаты экспериментальных исследований возможностей коррекции рецептов, разработанных конструкций модернизированных рамной мешалки и конвейерной хлебопекарной печи с устройствами автоматизированного регулирования. *Научная новизна* результатов заключается в определении ингредиентов и технологических процессов производства функционального хлеба, а также режимов электропитания, определяемых эмпирическим путем для расчета геометрических параметров теплопроводящих каналов, с применением методов механики сплошных сред и теории теплопередачи.

Рассматриваемая проблематика имеет прямое отношение к научной специальности **4.3.3. Пищевые системы (пунктам 20, 21, 24, 25, 30)**, так как в ходе исследования выполнена разработка методики, математической модели и

технических решений, применение которых позволит повысить эффективность процессов продовольственного обеспечения населения в особых условиях.

Основные научные положения и результаты исследования апробированы и реализованы в: практической деятельности должностных лиц ООО «Алгоритм» (акт от 12.12.2023 г.); ООО «Проектинтертехника» (акт от 23.07.2024 г.); ООО «Брасовские сыры» (акт от 25.02.2025 г.); образовательном процессе ВАМТО (акт от 14.08.2024 г.); научно-исследовательской работе Научно-исследовательского института (военно-системных исследований МТО ВС РФ) (акт от 21.08.2024 г.), что подтверждается актами реализации и внедрения.

Публикации. По материалам диссертации в 22 научных работах, из них пять статей в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных в перечне ВАК Минобрнауки РФ; получено два патента РФ на полезные модели; два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ; 13 статей в сборниках научных трудов (международных, всероссийских) конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации с приложениями составляет 163 страницы. Диссертация содержит 21 таблицу и 41 рисунок. Список использованной литературы включает 164 наименования. Источники информации представлены наименованиями работ отечественных и зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении аргументирована актуальность темы диссертации, научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

В первой главе «Анализ технологических процессов производства хлеба для обеспечения населения в особых условиях» изучены проблемы организации функционального питания в особых условиях проживания групп людей, проведена оценка возможностей совершенствования рецептур, технологии и оборудования производства хлеба в условиях обособленного проживания, систематизированы литературные данные о современном состоянии разработки процессов и аппаратного обеспечения производства хлеба в обособленных условиях проживания.

Одной из перспективных тенденций развития аппаратного обеспечения производства обогащенного хлеба в обособленных условиях проживания является использование в процессе его производства синергию полей.

Проведен анализ технических решений совершенствования конструкций механического и теплового оборудования для производства хлеба, который позволил установить, что применение синергии эффектов в процессе перемешивания ингредиентов и перехода теста-хлеб обеспечивает сохранение пищевой ценности исходных компонентов.

Проанализированная информация позволила сформулировать цель и задачи исследования и определить методы их решения.

Во второй главе «Аналитическое и численное системное моделирование модернизации аппаратного обеспечения производства обогащенного хлеба в особых условиях» разработаны основные теоретические положения научно-методического аппарата.

В целях расширения ассортимента готовой продукции в главе осуществлено обоснование физических принципов и аналитических моделей корректировки рецептур производства хлеба для обеспечения населения нутриентами в особых условиях.

Проблемы корректировки рецептур обогащенного хлеба путем введения пищевых волокон пектина связаны с недостаточно аргументированным обоснованием выбора параметров для проведения его гидролиза.

Рассмотрены возможности выбора таких параметров путем варьирования используемых при гидролизе кислот.

В качестве результата принималось среднеарифметическое значение результатов трех параллельных определений, допускаемое абсолютное расхождение не превышало 1 % ($P = 0,95$).

Определена степень этерификации пектиновых веществ с использованием метода титрования для определения свободных и омыленных карбоксильных групп полигалактуроновой кислоты в образцах пектиновых препаратов, очищенных от растворимых балластных примесей и катионных соединений.

Множество факторов, таких как концентрация, степень этерификации, длина молекулярной цепи, присутствие электролитов, температура, оказывают влияние на вязкость водного раствора пектина. При прочих равных условиях вязкость возрастает с увеличением молекулярной массы пектина. Измерение вязкости пектиновых растворов использовали для характеристики молекулярной массы пектинового вещества.

В ходе эксперимента по выявлению режимов экстрагирования на цвет готового продукта было подготовлено четыре одинаковых образца, подвергнутых экстракции. На 38 г измельченных клубней топинамбура добавляли 200 мл дистиллированной воды, 1,5 г щавелевой кислоты и выдерживали в течение 60 мин при температуре 105 °С. В результате экстракт получал определенную окраску.

Для осаждения пектина из раствора в течение одного часа использовался 96 %-ный этанол в соотношении объема раствора к спирту 1:3. Коагулят отделяли от раствора фильтрованием, а затем несколько раз промывали 80 %-м этиловым спиртом. Полученный пектин высушивали при температуре 50 °С до постоянного веса.

В образцах 2 и 3 разделение активированного угля и пектинового экстракта затруднено, поскольку частицы угля проходят через фильтровальную ткань в фильтрат. Раствор сохраняет интенсивную окраску, что влияет на цвет конечного продукта и на возможности его использования, например, в кулинарных целях.

Образец 4, в котором перед измельчением клубни дополнительно подвергались термической обработке, имел самую светлую окраску.

Выполненные исследования показали возможность замены соляной кислоты на щавелевую без снижения качества конечного продукта и производительность процесса при обеспечении более длительной сохранности оборудования.

Подобранные режимы под действием щавелевой кислоты препятствуют негативным изменениям пектина, хотя известно, что под действием кислот молекулы растворимых пектиновых веществ могут претерпевать одновременно два существенных изменения процесса омыления этерифицированных карбоксильных групп и разрушения молекулы вследствие разрыва гликозидной связи между остатками *D*-галактуроновой кислоты не происходит.

Рассмотрена возможность применения скорлупы куриного яйца для повышения пищевой ценности хлеба. Скорлупа куриного яйца усваивается организмом человека, она богата макро- и микроэлементами и на 90 % состоит из карбоната кальция (CaCO_3), а также фтора, меди, железа, марганца, фосфора, серы, цинка, кремния и других веществ. Свойства яичной скорлупы изучены на предмет использования при производстве хлебобулочных изделий. До настоящего времени не использовали выявленные ценные свойства этого вторичного сырья в промышленных масштабах в связи с проблемой его тонкого измельчения. В исследовании предложено заменить сильное механическое воздействие на оболочку яиц более мягким гидродинамическим воздействием – использование эффектов кавитации в процессе ее измельчения.

Таким образом, в целях корректировки рецептуры хлебобулочных изделий, повышения пищевой ценности рассмотрена возможность корректировки рецептуры обогащенного хлеба за счет включения в состав ингредиентов пищевых волокон пектина и скорлупы куриного яйца. Современные аппараты механической обработки исходных компонентов не позволяют достичь однородности теста, требуется разработка нового технологического оборудования.

В целях совершенствования механического технологического оборудования для производства теста в главе проведено **моделирование рамной мешалки для белково-жировых эмульсий и обоснование ее конструкции.**

Сохранению однородности смеси при подготовке теста для производства обогащенного хлеба служит, например, устройство, схема месильного органа которого приведена на рисунке 1.

Месильный орган такой конструкции предполагается устанавливать горизонтально с минимальным зазором относительно днища и выполнять в виде четырех полуэллипсов, расположенных под углом 90° относительно друг друга. Месильный орган вращается со скоростью 8,3-13,3 с^{-1} .

Сам вал нужно выполнить в виде двух стержней из ферромагнитного материала, соединенных неметаллической втулкой.

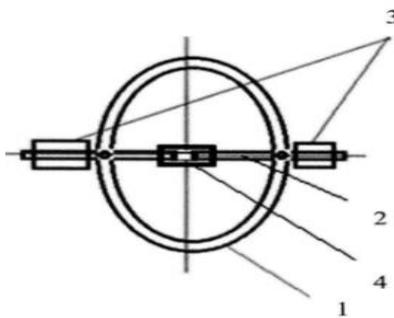


Рисунок 1 – Конструкция месильной камеры:

1 – полуэллипсы; 2 – ферромагнитные стержни; 3 – электрические катушки; 4 – немаetalлическая втулка

Применение ультразвуковых колебаний позволило достичь продолжительную стабильность и равномерное межмолекулярное распределение кальция в структуре белково-жировых эмульсий и в конечном продукте – тесте.

Мешалку испытывали на смеси для белково-жировой композиции масс. % (от общей массы теста): соль – 1,04-1,12, сахар-песок – 17,22-17,62, скорлупа куриного яйца – 5,0-6,0, жировая фаза – 20,0-22,38, меланж – 5,24-6,18.

Известно, что для твердых тел их монолитность определяется условиями предельного состояния. Оно может явиться началом развития значительной по размеру трещины и привести к полному разрушению объекта. Приведенные сведения о прочностном поведении твердых материалов говорят о том, что целостность объекта, к которому прилагаются нагрузки, зависит не только от нормальных, но и от касательных напряжений. В случае кавитационного разрушения яичной скорлупы это приводит к необходимости учета возможной неколлинеарности векторов скорости потока жидкости и действий, разрушающих объект центробежных сил. Это обусловлено еще и тем обстоятельством, что обтекание отдельных фрагментов диспергируемой пищевой добавки осуществляется в большинстве случаев не ламинарными, а турбулентными потоками. Простейшим способом учета указанных обстоятельств является предположение о наличии некоторого угла α между векторами скорости потока жидкости и центробежных сил, что приводит к некоторому изменению исходных дифференциальных уравнений.

Обеспечивающие подобное движение силы традиционно представляют в виде функций окружной скорости движения жидкой частицы вдоль окружности. Составляющие этой скорости определяют из условия, что движение жидких частиц описывается уравнением окружности в следующем виде:

$$\psi = q_{\pi} \left(\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{r^2} \right), \quad (1)$$

где ψ – функция тока; x, y – текущие координаты жидкой частицы в декартовой системе; r – радиус окружности, по которой движется жидкая частица; q_{π} – постоянный параметр.

При указанных условиях составляющая окружной скорости вдоль оси Ox будет равна

На каждом из стержней, между стенкой месильной камеры и месильной рамкой, с обеих сторон размещен магнестрикционный элемент для генерирования ультразвукового поля (УЗ) (уровня звукового давления – 140 дБ при частоте $22 \pm 1,65$ кГц). Проведенные исследования позволили получить более полное представление о сложном механизме подготовки теста с равномерным распределением пищевых добавок.

$$U_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{2q}{r^2} y, \quad (2)$$

а составляющая вдоль оси Oy определится как

$$U_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{2q}{r^2} x. \quad (3)$$

В этом случае проекции силы равномерного движения жидкости по окружным траекториям на оси координат представляют таким образом:

$$N_x = k_1 \cdot u_x = k_1 \cdot \frac{2q}{r^2} y = c_1 y \quad (4)$$

$$N_y = k_2 \cdot u_y = k_2 \cdot \frac{2q}{r^2} x = c_2 x \quad (5)$$

где $k_1; k_2; c_1; c_2$ – постоянные коэффициенты.

В действительности рассматриваемое движение жидкости в каверне является неравномерным в течение периода её обращения за счёт возникающих при этом сил сопротивления.

Таким образом, во-первых, необходимо учесть внутреннюю силу сопротивления движению жидкости в каверне, возникающую от влияния вязкости, благодаря которой главным образом происходит диссипация энергии накопленной жидкостью в каверне от транзитного потока.

Во-вторых, кроме указанных сил, также должны быть учтены силы сопротивления, возникающие на поверхности раздела между транзитным потоком и жидкостью в дефекте. Эти силы можно записать в виде функции относительной скорости движения жидкости на поверхности раздела, выразив её через скорость транзитного потока v_0 и соответствующую неравномерность окружной скорости движения жидкости в дефекте вдоль оси $Ox \frac{dx}{dt}$. В соответствии с этими рассуждениями получаем систему неоднородных нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка.

Этот метод не только более экономичен с точки зрения использования ресурсов вычислительной системы, но и дает возможность построения фазового портрета решения системы для определения наличия возможного аттрактора (рисунок 2).

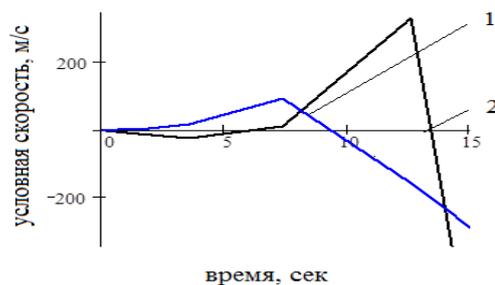


Рисунок 2 – Изменение скоростей движения границ полости в процессе кавитации:

1 – по оси Ox ; 2 – по оси Oy

(при $S_{тр} = 100, a=0$)

Статистическая обработка полученных численных значений наименьших квадратов позволила записать для приведенных решений следующие уравнения регрессии:

$$\frac{dx}{dt} = 1,77 - 15,01t + 2,16t^2; \quad (6)$$

$$\frac{dy}{dx} = 0,27 - 2,85t + 2,06t^2. \quad (7)$$

Зная зависимость компонента скорости по координатам от времени, вычисляется сама скорость, а по ней рассчитывается величина, действующая на стенки каверны центробежной силой F_{cr} по формуле

$$F_{cr} = \frac{mV^2}{r}. \quad (8)$$

где V – объем полуфабриката, м³; m – масса полуфабриката, кг.

Дифференцируя полученную зависимость, легко определить время, при котором величина центробежной силы будет достигать экстремальных значений для каждой заданной величины транзитной скорости $S_{тр}$. Выполнив решение систем уравнений для разных значений угла, получим следующие данные, представленные на рисунке 3.

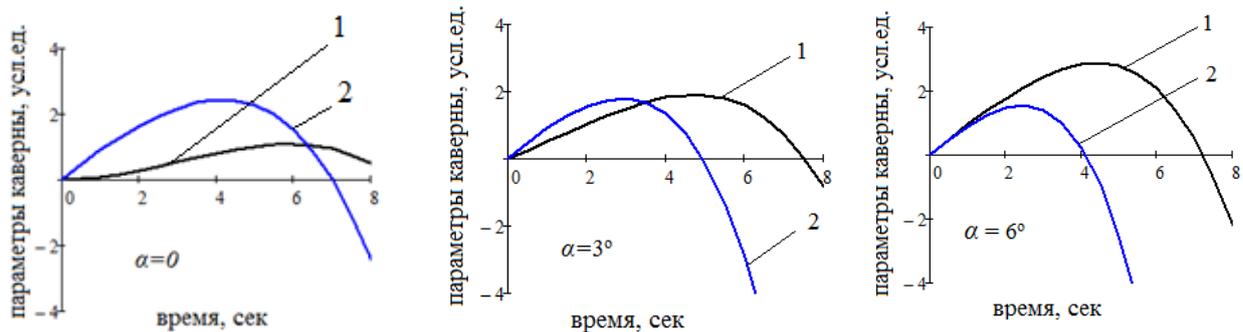


Рисунок 3 – Характер изменения размера каверны (1) и скорости движения кавитационной волны (2)

Проанализировав полученные зависимости, замечено, что смещение полуосей разомкнутого сердечника магнестрикционного механизма существенно влияет на инициируемые ультразвуковые процессы развития каверны.

С увеличением угла смещения возрастают размеры каверны вплоть до ее «схлопывания» и уменьшается скорость самого роста каверны. Вместе с тем увеличение угла смещения для инициирования процесса кавитации требует повышения мощности разряда. Таким образом, конкретные характеристики устройства в каждом конкретном случае должны подбираться на основании эксперимента.

Подготовка образцов осуществлялась тремя способами: без обработки ультразвуком (УЗ) и при нагреве от 20 °С до 120 °С в течение 60 минут, с обработкой УЗ во время перемешивания и таком же нагреве до 120 °С в течение 60 минут, а также с обработкой УЗ во время перемешивания и нагреве от 20 °С до 120 °С в течение 30 минут. Вид экспериментальных образцов приведен на рисунке 4.

Визуальный осмотр испытанных образцов подтвердил предположения о равномерности перемешивания отдельных ингредиентов по равномерности цветовой гаммы у каждого из образцов, которые после термообработки не выявили очагов неравномерности протекания реакции меланоидинообразования.

Образцы первого типа незначительно изменили свой цвет в силу произвольного распределения белков, жиров и углеводов, сложившегося при подготовке образцов и сравнительно щадящего темпа нагрева.

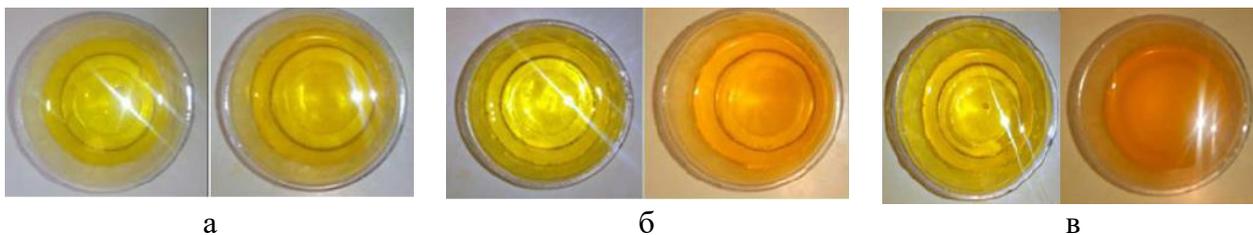


Рисунок 4 – Образцы белково-жировой композиции после нагрева до 120 °С: а – без обработки УЗ при нагреве в течение 60 мин; б – с обработкой УЗ при перемешивании и нагреве в течение 60 мин; в – с обработкой УЗ при перемешивании и нагреве в течение 30 мин

Второй тип образцов, подвергнутый УЗ-воздействию при перемешивании, в силу инициируемых в смесительной камере кавитационных процессов, обеспечил более равномерный контакт белков и углеводов и при том же темпе нагрева проявил более интенсивную окрашенность. И, наконец, третий тип образцов в условиях воздействия УЗ и резком увеличении темпа нагрева (моделирующего несанкционированный температурный скачок) получил наиболее интенсивную окраску. Одновременно появился характерный запах подгоревшего жира, что недопустимо для продукции функционального питания.

Таким образом, проведено моделирование рамной мешалки для белково-жировых эмульсий и обоснование ее конструкции в целях обеспечения равномерности перемешивания ингредиентов в белково-жировых композициях для приготовления теста.

Также в главе выполнено **моделирование пекарной камеры для электроконтактной выпечки хлеба в поле инфракрасного излучения и обоснование технологических параметров ее работы**, позволяющее оценить влияние энергетических полей на сохранение нутриентов.

В целях расчёта эксплуатационных характеристик оборудования для электроконтактной выпечки хлеба разработана методика обоснования основных конструктивных элементов конвейерной хлебопекарной печи и ее эксплуатационных характеристик.

Сущность методики расчета пекарной камеры с ЭК-нагревом заключается в учете синергетического эффекта, полученного в результате электроконтактного подвода теплоты и воздействия инфракрасного излучения на тестозаготовку при выпечке хлеба.

Математическая постановка задачи сводится к построению уравнения нестационарного теплового режима полуфабриката с внутренними источниками теплоты, которые имеют вид

$$F^2 t_{пф} + \frac{\zeta}{c_{пф}} = \frac{c_{пф} \rho_{пф}}{c_{пф}} \cdot \frac{dt_{пф}}{d\tau}, \quad (9)$$

где $\rho_{пф}$ – плотность полуфабриката, кг/м³; $c_{пф}$ – теплопроводность полуфабриката, Вт/м·К; $t_{пф}$ – температура тепловой обработки полуфабриката, °С; d – толщина полуфабриката, м; F – движущая сила массообменного процесса; τ – время тепловой обработки, с; ζ – плотность мощности тепловыделений в полуфабрикате, Вт/м³.

Электроконтактный способ подвода теплоты, при котором все слои полуфабриката прогреваются равномерно, а теплообмен с парогазовой средой

пекарной камеры протекает по закону Ньютона-Рихмана, зависимость (9) можно представить:

$$\frac{dt}{d\tau} + \tau_{\text{наг}}(t - t_{\text{oc}}) = \frac{NV}{q}, \quad (10)$$

где q – удельное количество теплоты для выпечки хлеба, Дж/К; $\tau_{\text{наг}} = \frac{\beta\delta_{\text{п}}}{q}$ – темп нагрева, с^{-1} ; β – коэффициент конвективно-лучистого теплообмена с окружающей средой, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$; $\delta_{\text{п}}$ – площадь поверхности теплообмена, м^2 ; t_{oc} – температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$.

Решение зависимости (10) можно представить в следующем виде:

$$t(\tau) = t_0 e^{-\tau_{\text{наг}}\tau} + \tau_{\text{наг}} e^{-\tau_{\text{наг}}\tau} \int_0^{\tau} e^{\tau_{\text{наг}}\tau} \left(t_{\text{oc}} - \frac{NV}{\tau_{\text{наг}}q} \right) d\tau. \quad (11)$$

Определение результирующей мощности, подводимой к полуфабрикату, осуществляется по зависимости

$$P(t_{\text{пф}}) = P_{\text{фхп}}(t_{\text{пф}}) + P_{\text{рив}}(t_{\text{пф}}) + P_{\text{пф}}(t_{\text{пф}}) + P_{\text{oc}}(t_{\text{пф}}), \quad (12)$$

где $P(t_{\text{пф}})$ – полная мощность, подводимая к полуфабрикату, Вт; $P_{\text{фхп}}(t_{\text{пф}})$ – мощность, расходуемая на физико-химические процессы, протекающие во время выпечки, Вт; $P_{\text{пф}}(t_{\text{пф}})$ – мощность, расходуемая на нагрев массы теста теплоемкостью, Вт; $P_{\text{рив}}(t_{\text{пф}})$ – мощность, расходуемая на испарение влаги, Вт; $P_{\text{oc}}(t_{\text{пф}})$ – мощность, теряемая в окружающую среду во время нагрева, Вт.

Расход энергии (P_3) на нагрев тестозаготовки составляет незначительную часть от потребляемой мощности

$$P_3 = q(t_{\text{кон}} - t_{\text{н}}), \quad (13)$$

где $t_{\text{кон}}$ – температура конечная, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{н}}$ – температура начальная, $^{\circ}\text{C}$.

Сила тока и продолжительность тепловой обработки влияют на затраты энергии при электроконтактном подводе теплоты. Расчет энергозатрат N_3 осуществляется по зависимости

$$N_3 = \varphi \int_0^t i l \tau, \quad (14)$$

где N_3 – затраты энергии на выпечку, Дж; φ – напряжение, В; i – сила тока, А.

При выпечке хлеба с использованием ЭК-подвода теплоты напряжение φ остается постоянным. Сопротивление R_3 , в свою очередь, можно определить по зависимости

$$R_3 = \frac{\rho_{\text{т}} L}{S'}, \quad (15)$$

где $\rho_{\text{т}}$ – удельное сопротивление теста, $\text{Ом}\cdot\text{м}$; L – расстояние между электродами, м; S' – площадь поперечного сечения проводника, для тестозаготовки – произведение длины и высоты тестозаготовки, м^2 .

На втором этапе определяется влияние инфракрасного излучения на сохранение пищевой ценности исходного сырья.

Принципиальная схема инфракрасного энергоподвода в технологии обработки тестозаготовки показана на рисунке 5.

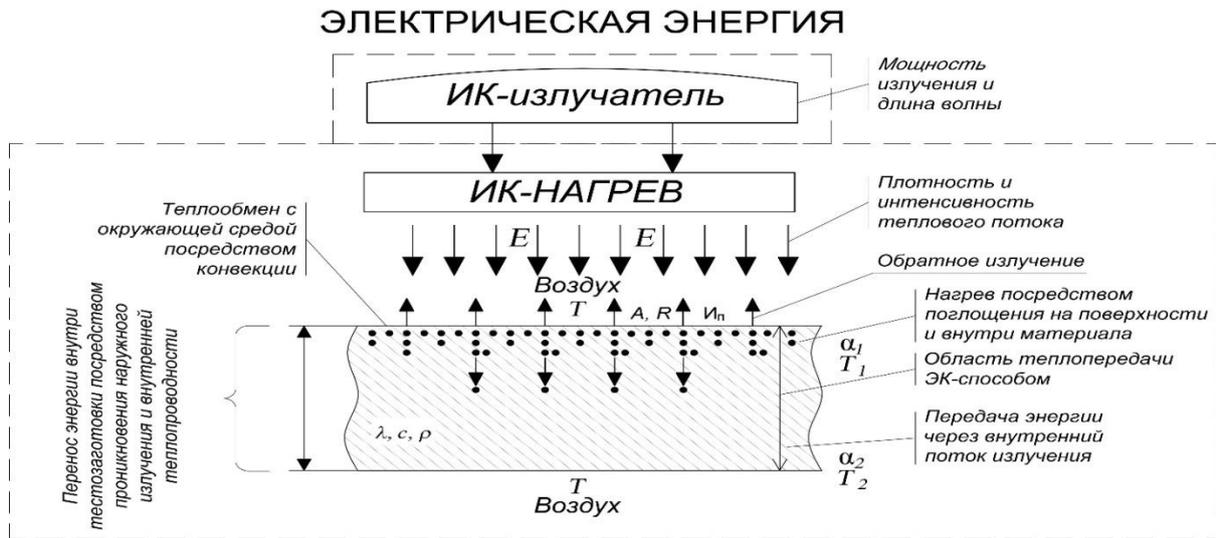


Рисунок 5 – Принципиальная схема ИК-энергоподвода в технологии обработки тестозаготовки:

T – соответственно температура воздуха (сверху, снизу); λ – теплопроводность тестозаготовки; A – поглощательная способность верхней поверхности; R – отражательная способность верхней поверхности; I_{π} – излучательная способность верхней поверхности; α_1 – коэффициент теплопередачи «воздух-материал» (сверху); α_2 – коэффициент теплопередачи «воздух-материал» (снизу); E – интенсивность ИК излучения; T_1 – температура верхней поверхности; T_2 – температура нижней поверхности; c – удельная теплоемкость тестозаготовки; ρ – плотность тестозаготовки, d – толщина тестозаготовки

В методике для исследования этой зависимости применен закон Планка, устанавливающий характер спектра излучения абсолютно черного тела, E_{0f} :

$$E_{0v} = 2\pi \frac{bf}{s_0^2} - \frac{1}{\exp\left(\frac{bf}{\delta T}\right) - 1}, \quad (16)$$

где E_{0f} – спектральные плотности излучения абсолютно черного тела; f – частота, Гц; b – постоянная Планка = $6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; s_0^2 – скорость света ($s = 0,7c_0$), $s = 2,9977 \cdot 10^8$ м/с; δ – постоянная Больцмана = $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T – температура, К.

Инфракрасное нагревание тестозаготовки обеспечивает инактивацию бактерий, спор, дрожжей и плесени. Эффективность инактивации микробов с использованием инфракрасного нагрева зависит от следующих параметров: уровня мощности инфракрасного излучения, пиковой длины волны и ширины полосы инфракрасного источника нагрева, высоты тестозаготовки, типов микроорганизмов, влажности и температуры тестозаготовки.

На третьем этапе оценивается влияние синергетического эффекта при выпечке хлеба на сохранность функциональных ингредиентов.

Для выбора наилучшего способа комплексного воздействия полей на обработку продуктов питания применяется критерий оценки качества продовольствия после его обработки, выражаемый многомерной суммой взвешенных нормированных отклонений параметров K состояния продукта от их значений до обработки:

$$K = \sum_{i=1}^m \xi_i \left(1 - \sqrt{\sum_{j=1}^n b_{ij} \left(\frac{y_{ij}^0 - y_{ij}}{\Delta y_{ij}} \right)^2} \right), \quad (17)$$

где ξ_i – коэффициент значимости i -й группы факторов; b_{ij} – весовой коэффициент отклонения j -го фактора i -й группы; Δy_{ij} – допустимое отклонение параметра от желаемого значения; y_{ij}^0 , y_{ij} – значение параметра состояния j -го фактора i -й группы до и после термообработки.

На четвертом этапе осуществляется расчет геометрических параметров основных элементов конвейерной хлебопекарной печи.

В целях эффективного использования и компактного размещения внутри технологического блока (ограниченного пространства) разработанной печи предложено рассчитать геометрические параметры ее основных элементов: ширину ленты; пекарной камеры; источника инфракрасного излучения; вентилятора; хлебопекарных форм.

Ширина ленты, при ограничениях длины помещения, является основным параметром, влияющим на производительность печи, ее ширина рассчитывается по зависимости

$$B_{л} = \sqrt{\frac{P_{\text{ЭКП}}}{S_{л} \gamma_{\text{ХФ}} (0,57 \text{tg}(0,35\Omega) + 0,28) K_z}}, \quad (18)$$

где $B_{л}$ – ширина ленты, м; $P_{\text{ЭКП}}$ – производительность ЭК-печи, кг/час; $S_{л}$ – скорость ленты, м/час; $\gamma_{\text{ХФ}}$ – плотность хлебопекарных форм, кг/м³; Ω – угол размещения хлебопекарных форм; K_z – коэффициент, учитывающий угол наклона ленты.

Параметры источника инфракрасного излучения рассчитываются с учетом длины площади облучения поверхности $l_{\text{обл}}$ по формуле

$$l_{\text{обл}} = A_0 / B, \quad (19)$$

где A_0 – площадь облучаемой поверхности внутри пекарной камеры, м²,

$$A_0 = B v_{\text{ТЗ}} \tau, \quad (20)$$

$v_{\text{ТЗ}}$ – скорость перемещения тестозаготовки под излучателями, м/с;

$$v = P_{\text{ЭКП}} / \rho B d, \quad (21)$$

где d – толщина обрабатываемой тестозаготовки, м.

С использованием предложенной математической модели разработана конвейерная хлебопекарная печь на основе применения электроконтактного прогрева выпекаемой тестозаготовки в поле инфракрасного излучения при принудительной конвекции.

Сущность заключается в использовании в процессе выпечки электрического тока высокой частоты, обеспечивающего трение и колебание молекул внутренних слоев тестозаготовки, в результате чего выделяется теплота и реализуется переход теста-хлеб при значительном снижении температуры парогазовой среды. Принцип работы конвейерной хлебопекарной печи представлен на рисунке б.

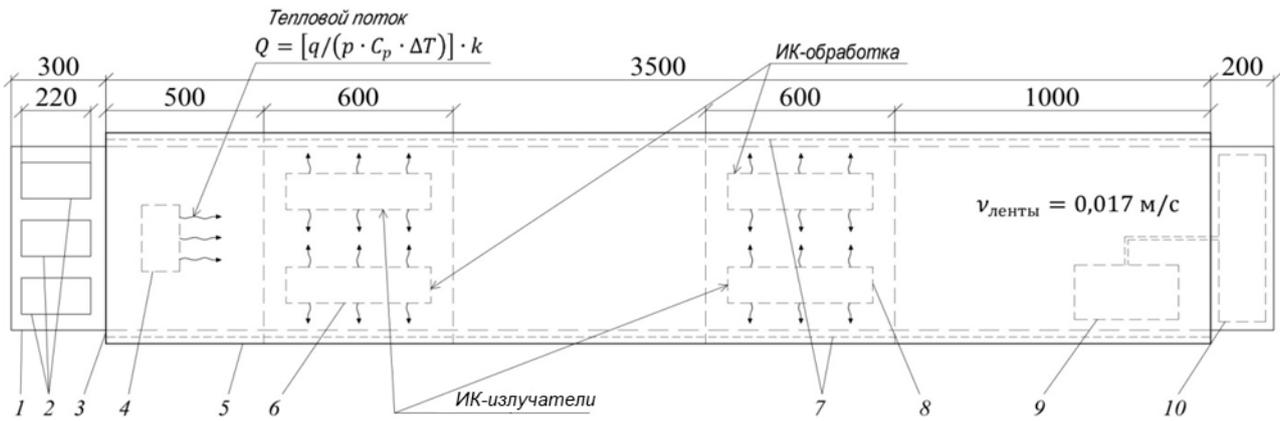


Рисунок 6 – Принцип работы конвейерной хлебопекарной печи:

- 1 – лента; 2 – хлебопекарная форма; 3 – конвейер; 4 – вентилятор; 5 – пекарная камера;
 6 – источник инфракрасного излучения; 7 – электрод; 8 – ультрафиолетовая лампа;
 9 – электродвигатель; 10 – ведущий диск

Таким образом, практическая значимость математическая модель заключается в том, что она позволяет рассчитать геометрические размеры пекарной камеры, работа которой обеспечивает сохранение нутриентов исходного сырья, а применение комплексной тепловой энергии (при электроконтактном подводе теплоты, в поле инфракрасного излучения) способствуют производству бескоркового хлеба с высокими показателями качества.

В третьей главе «**Экспериментальная проверка модернизированного аппаратного обеспечения производства обогащенного хлеба в особых условиях**», в целях экспериментальной проверки пригодности технических и технологических разработок для практического применения в особых условиях проживания, был разработан план эксперимента, сформулированы цели, задачи, сущность, особенности, способы формализации и основные этапы проведения экспериментальных исследований.

Экспериментальная проверка предложенных в исследовании технических разработок проводилась с использованием теории планирования эксперимента, методов численного моделирования, а также статистических методов анализа точности и стабильности технических процессов.

В главе выполнена оценка пригодности предложенных образцов технологического оборудования хлебопечения для организации функционального питания групп людей в обособленных условиях проживания. На основе расчета критерия Кохрена установлена воспроизводимость полученных результатов испытаний, а на основе критериев Фишера и Стьюдента – адекватность математических моделей функционирования образцов технологического оборудования для производства бескоркового хлеба.

На основе результатов экспериментов построены математические модели оценки эксплуатационных показателей работы технологического оборудования в форме уравнений линейной множественной регрессии. Аппроксимация процессов функционирования предложенных образцов с использованием линейных уравнений подтверждена результатами экспериментальных

исследований, проведенных на базе ООО «Проектинтертехника», ООО «Брасовские сыры» и в лаборатории ВАМТО.

Экспериментальные исследования с использованием экспериментального образца рамной мешалки и конвейерной хлебопекарной печи позволили получить следующие результаты:

1) подтверждена степень соответствия предложенных образцов аппаратов предъявляемым требованиям к технологическому оборудованию функционального питания (производительность, энергопотребление, продолжительность приготовления, пищевая ценность продуктов питания и другие).

На основе расчета коэффициентов уравнений множественной регрессии проранжированы факторы, влияющих на эксплуатационные показатели работы образцов технологического оборудования и технологии производства хлеба с заданными показателями качества;

2) рассчитаны основные конструктивные элементы конвейерной хлебопекарной печи (таблица 1), обеспечивающие производительность хлеба из муки пшеничной 1 сорта до 400 кг в сутки.

Таблица 1 – Конструктивно-эксплуатационные характеристики основных конструктивных элементов конвейерной хлебопекарной печи

Наименование	Габаритные размеры (мм×мм)	Энергопотребление, кВт/ч	Примечание
Конвейерная лента	4000×400	-	$V = 0,017$ м/с
Инфракрасная лампа	300×150	0,7	Длина волны $\lambda = 4-9$ мкм Проник. способн. $I_{\text{пс}} = 4-5$ мм
Двигатель	500×450	6,6	3000 обор., 88 % КПД
Вентилятор	200×150	1,1	Тепловой поток $Q = 2,4$ Вт
Электроконтакты	3500×200	2,5	Сила тока $I = 5,7$ А

Инфракрасное излучение щадяще воздействует на молекулярную и клеточную структуру теста-хлеб, позволяет нагреть и сохранить влагу во внешних и внутренних слоях, и обеззаразить верхние слои тестозаготовки при выпечке хлеба;

3) изучено влияние синергии эффектов (ЭК-нагрева и инфракрасного излучения) на продолжительность выпечки хлеба ($m = 0,7$ кг) и снижение меланоидинообразования.

На рисунке 7 показано влияние сорта муки и влажности тестозаготовки на показатели качества готовых изделий;

4) изучено влияние синергии эффектов на сохранность функциональных ингредиентов, продолжительность производства готовых изделий.

Электроконтактная выпечка в поле инфракрасного излучения обеспечивает сохранение нутриентов исходных компонентов за счет подачи теплоты и формирования теста во внутренних слоях полуфабриката. Инфракрасное излучение обеспечивает незначительное формирование верхней корочки, создавая «образ» традиционной булки, и снижение активности размножения грибков и плесени – стерилизует готовый продукт питания;



Рисунок 7 – Результаты экспериментальных исследований:

а – размещение тестозаготовок в экспериментальном образце; б – внешний вид хлеба с использованием синергии эффектов; в – результаты повышения влажности тестозаготовки; г – выпеченный хлеб из муки ржаной ($W_{\text{теста}}=58\%$)

5) рассмотрев особенности производства хлеба в полевых условиях с использованием предложенных образцов технологического оборудования (месильной камеры, рамной мешалки, электроконтактной хлебопекарной печи), сделан вывод, что они существенно отличаются от применяемых образцов. Предложенные в исследовании образцы аппаратов приготовления теста и выпечки хлеба имеют преимущества перед прототипами, выраженные в том, что конструктивные решения позволяют изготовить образец любого размера с низким энергопотреблением, что является важным при производстве продуктов питания в ограниченных пространствах;

б) сравнительная оценка показателей качества бескоркового хлеба (выпеченного с использованием предложенных аппаратов). Экспертная оценка и лабораторные исследования показали, что использование предложенного оборудования обеспечивает сохранение витаминов В1, В2, РР, макро- и микроэлементов, улучшение состава готовых изделий за счет щадящего воздействия теплоты на добавки, внесенные в состав полуфабриката, снижение канцерогенов.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований показали, что новое аппаратное обеспечение позволяет не только повысить эффективность производства хлеба, но и путем использования пищевых волокон и минеральных добавок позволяют расширить ассортимент. Предложенное аппаратное обеспечение улучшает органолептические показатели хлеба на 12-16 %, способствует повышению пищевой ценности на 9-12 % и снижает продолжительность производства 1,2-5 раз и трудозатраты на 9-17 %.

В четвертой главе **«Оценка эффективности модернизации аппаратного обеспечения производства обогащенного хлеба в особых условиях»** обобщены принципы оценки эффективности новых технических разработок, предложены рекомендации по применению разработанной пекарной камеры конвейерной хлебопекарной печи, рамной мешалки для подготовки белково-жировых эмульсий для приготовления теста, устройства автоматизированного контроля компенсации упека при ЭК-выпечке хлеба, по формированию, а также итоговые результаты технико-экономического анализа эффективности выполненных разработок.

Технико-экономическая эффективность от реализации предложенных технических и технологических решений представлена на рисунке 8.

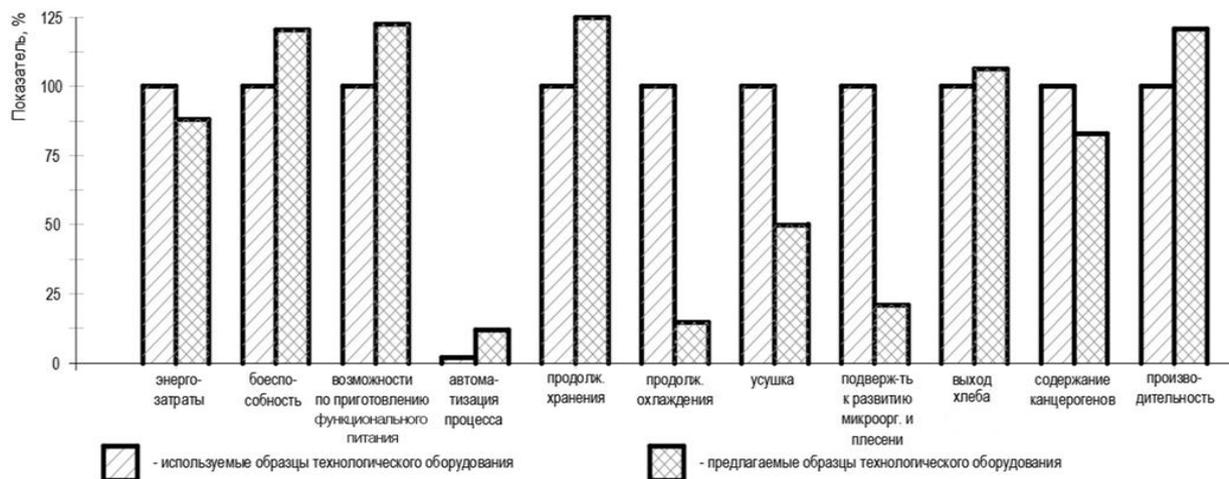


Рисунок 8 – Техничко-экономическая эффективность от реализации предложенных технических и технологических решений

Проведенная оценка показала, что применение предложенного аппаратного обеспечения производства обогащенного хлеба в особых условиях обеспечивает повышение эффективности питания в целом, а экономия от включения его в состав комплекта технологического оборудования хлебопечения может составлять более 0,5 млн. руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения исследования достигнута его цель, решена актуальная научная задача, получены следующие основные научные результаты:

- проанализированы существующие проблемы производства хлеба в особых условиях, состоящие в отсутствии мобильных образцов аппаратного оборудования для обеспечения быстрой системной переконфигурации линий производства конкретного вида хлеба, обусловленных требованиями особых условий;

- проведена оценка современных рецептов, технологии и аппаратного оборудования для производства обогащенного хлеба в особых условиях выявившая отсутствие методик расчета степени его «полноценности» производства для конкретных особых условий обособленного размещения;

- выявлены возможности совершенствования процессов и аппаратного оборудования использующего электромагнитный эффект свидетельствующие о возможности обеспечения режимов таких переходных процессов, которые позволяют существенно сократить время срабатывания микровыключателей изменением крутизны импульса;

- оценено состояние разработок аппаратного оборудования для соответствия требованиям по приготовлению обогащенного хлеба говорящее о возможности использования ИК-излучения при строгом следовании закону Бугера;

- исследованы возможности корректировки рецептуры хлеба для повышения его пищевой ценности позволившие рекомендовать в качестве базовых следующие соотношения пищевых веществ:

ограничение по белкам:

$$7,1x_1 + 10,9x_2 + 10,8x_3 \geq 45,$$

$$7,1x_1 + 10,9x_2 + 10,8x_3 \leq 55;$$

ограничение по жирам:

$$8,3x_1 + 15,6x_2 + 8,8x_3 \geq 30,$$

$$8,3x_1 + 15,6x_2 + 8,8x_3 \leq 60;$$

ограничения по углеводам:

$$17,1x_1 + 20,3x_2 + 5,4x_3 \geq 70,$$

$$17,1x_1 + 20,3x_2 + 5,4x_3 \leq 100.$$

- осуществлено моделирование модернизированной рамной мешалки для приготовления белково-жировых эмульсий с режимами применением электромагнитных эффектов выявившие необходимость изменения параметров электропитания таким образом, чтобы предварительная обработка УЗ (уровня звукового давление – 140 дБ при частоте $22 \pm 1,65$ кГц) генерируемых магнитострикторами осуществлялась при перемешивании и нагреве в течение 60 минут;

- выполнено моделирование модернизированной конвейерной хлебопекарной печи электромагнитного действия для электроконтактной выпечки хлеба в поле инфракрасного излучения, при следующих режимах: длина волны $\lambda=4-9$ мкм, проникающая способность $I_{пс}=4-5$ мм, время выпечки 7,2 минуты;

- сформулированы основные требования к методике планирования экспериментальных исследований, включающие построение нелинейных линейных регрессионных моделей.

$$Y_1 = 18,726 + 0,142x_1 + 0,001x_2,$$

$$Y_2 = 17,800 - 0,304x_1 + 0,036x_2.$$

- проведено экспериментальное уточнение процесса применения магнитострикционного эффекта в смесителе при тестоприготовлении с построением ротатбельных моделей его рациональной работы привело к следующим уравнениям:

$$Y_1 = 19,724 + 0,972x_1 + 0,095x_2 + 0,009x_1^2 - 0,025x_1x_2;$$

$$Y_2 = 186,767 - 22,059x_1 - 1,459x_2 + 0,057x_1^2 - 0,001x_2^2 - 0,207x_1x_2;$$

- выявлены технологические параметры работы пекарной камеры при выпечке обогащенного бескоркового хлеба с применением электромагнитно-упругого эффекта обеспечиваемого биметаллической пластиной;

- сформулированы общие принципы оценки эффективности новых технических решений в виде последовательности вычисления важнейших технико-экономических параметров реализуемого технологического процесса;

- разработаны предложения модернизации технических средств производства обогащенного хлеба в особых условиях и проведена оценка результатов технико-экономического анализа эффективности выполненных разработок по корректировке аппаратного оборудования производства обогащенного хлеба и его рецептуры.

Основные положения диссертации опубликованы в периодических изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ:

1. Искаков, И.Ж. Совершенствование процесса извлечения пектина из топинамбура / И.Ж. Искаков, В.Я. Кучеренко, Г.В. Алексеев, К.С. Лях, **Д.В. Сызранцев** // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 3. – С. 223-231.
2. Алексеев, Г.В. Регулирование режимов электроконтактной выпечки для компенсации упека тестозаготовок / Г.В. Алексеев, А.П. Савельев, Е.Н. Ивлева, **Д.В. Сызранцев** // Ползуновский вестник. 2023. № 2. – С. 31-36.
3. **Сызранцев, Д.В.** Методика обоснования основных конструктивных элементов конвейерной хлебопекарной печи и её эксплуатационных характеристик / Д.В. Сызранцев // Хлебопродукты. 2023. № 8. – С. 49-53.
4. **Сызранцев, Д.В.** Технология электроконтактной выпечки хлеба в особых условиях / Д.В. Сызранцев // Хлебопродукты. 10. 2025. – С. 51-55.
5. Алексеев Г.В. Возможности производства хлеба варьируемых рецептов в особых условиях / Г.В. Алексеев, А.С. Гарницкая, О.И. Николук, **Д.В. Сызранцев**, О.В. Агеев // Хлебопродукты. – 2025. – № 11. – С. 44-48.

Патенты на полезные модели:

6. **Хлебопекарная электрическая печь: пат. 214961 РФ**, МПК А21В 1/00, А21В 1/40 / С.А. Романчиков, Г.В. Алексеев, И.Ж. Искаков, В.Я. Кучеренко, А.Х. Курбанов, И.Е. Волков, **Д.В. Сызранцев**; заявитель и патентообладатель ВАМТО – № 2022114156; заявл. 25.05.2022; опубл. 22.11.2022; бюл. № 33.
7. **Месильная камера для замеса теста в месильно-сбивальной машине: пат. 216005 РФ**, МПК А21С 1/06 / С.А. Романчиков, Г.В. Алексеев, И.Ж. Искаков, В.Я. Кучеренко, А.Х. Курбанов, И.Е. Волков, **Д.В. Сызранцев**; заявитель и патентообладатель ВАМТО – № 2022114155; заявл. 25.05.2022. приор. 12.01.2023; бюл № 2.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

8. Имитационная модель выпечки хлебопродуктов электроконтактным способом: Свид-во о гос. Регистрации программы для ЭВМ 2022612108 РФ / **Д.В. Сызранцев**, Э.В. Абушинов, Н.А. Ермошин, А.С. Мокрушин; заявитель и патентообладатель ВАМТО – № 2022611352; заявл. 02.02.2022; зарегистр. 08.02.2022, опубл. 08.02.2022.
9. Математическая модель приготовления пищи в полевом пароварочном аппарате: Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 2022615311 РФ / **Д.В. Сызранцев**, А.В. Топоров, И.В. Востряков, В.И. Пахомов, А.С. Мокрушин и др.; заявитель и патентообладатель ВАМТО – № 2022614623; заявл. 23.03.2022; зарегистр. 30.03.2022, опубл. 30.03.2022.

Публикации в других изданиях и материалах конференций:

10. **Сызранцев, Д.В.** Инновационные подходы в совершенствовании производства лечебно-профилактического питания / Д.В. Сызранцев, Г.В. Алексеев, К.С. Лях // В сборнике: Современные проблемы цивилизации и устойчивого развития в информационном обществе. Сборник материалов X Международной научно-практической конференции. Редколлегия: Л.К. Гуриева, З.Ш. Бабаева [и др.]. М.: 2022. – С. 170-174.

11. **Сызранцев, Д.В.** Техническая разработка совершенствования технологического оборудования в интересах лечебного питания в полевых условиях / Д.В. Сызранцев // Актуальные вопросы материально-технического обеспечения войск национальной гвардии Российской Федерации. Сборник научных статей X Всероссийской научно-практической конференции. Пермь, 2022. – С. 319-323.

12. **Сызранцев, Д.В.** Ресурсосбережение как основа совершенствования процессов переработки пищевого сырья. В сборнике: Молодые исследователи в ответ на современные вызовы / Д.В. Сызранцев, А.Г. Леу // Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. Петрозаводск, 2022. – С. 8-19.

13. **Сызранцев, Д.В.** Влияние новых технических разработок на ресурсосбережение переработки пищевого сырья / Д.В. Сызранцев // Проблемы материально-технического обеспечения росгвардии в современных условиях и пути их решения. Сборник научных статей XI научно-практической конференции с международным участием. Пермь, 2022. – С. 238-241.

14. **Сызранцев, Д.В.** Обоснование эксплуатационных характеристик технологического оборудования для производства функционального хлеба / Д.В. Сызранцев, С.А. Романчиков, Е.В. Уточкин // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. Генерала армии А.В.Хрулева. 2023. № 1 (33). – С. 74-79.

15. **Сызранцев, Д.В.** Экологическая безопасность производства продуктов функционального назначения на предприятиях АПК / Д.В. Сызранцев, Е.Н. Ивлева, М.А. Новикова // В сборнике: Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК. Сборник научных статей Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров. Курск, 2023. – С. 368-371.

16. **Сызранцев, Д.В.** Обогащение теста измельченными пищевыми добавками с использованием механизма кавитации / Д.В. Сызранцев, Е.Н. Ивлева, Г.В. Алексеев // Исследование различных направлений современной науки: естественные и технические науки. Сборник материалов XXVIII Международной очно-заочной научно-практической конференции, (17 мая 2023 г.), – Москва. Издательство НИЦ «Империя», 2023. – С. 37-39.

17. **Сызранцев, Д.В.**, Возможности цифровизации разработки рациона здорового питания / Д.В. Сызранцев, Е.Н. Ивлева, В.М. Сикорская, Г.В. Алексеев // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2022. Т. 17. № 4. – С. 1907-1912.

18. **Сызранцев, Д.В.** Оценка показателей качества продовольствия используемого для организации лечебного питания в полевых условиях /Д.В. Сызранцев // Тыловое обеспечение войск национальной гвардии Российской Федерации на современном этапе развития. Сборник научных статей XIII научно-практической конференции с международным участием. – Пермь, – 2023. – С. 370-374.

19. **Сызранцев, Д.В.** Возможности совершенствования оборудования для повышения качества выпечных кондитерских изделий / Д.В. Сызранцев, Е.Н. Ивлева, Г.В. Алексеев // – М.: Издательство НИЦ «Империя», 2023. – С. 17-21.

20. Novikova, M.A. Intensification of the wastewater treatment process for its secondary use in food enterprises / M.A. Novikova, M.V. Goncharov, **D.V. Syzrancev**, G.V. Alekseev // Modern Science and Innovations. 2023. № 2 (42). – С. 95-101.

21. **Сызранцев, Д.В.** Совершенствование процессов и аппаратов для обеспечения функциональным питанием компактных групп населения в обособленных условиях проживания. Автореферат дисс. На соискание ученой степени к.т.н. СПб.: ВАМТО. 2024. – 24 с.

22. **Сызранцев, Д.В.** Предложения по совершенствованию лечебного питания военнослужащих в полевых условиях /Д.В. Сызранцев // В сборнике: Материалы итоговой конференции Военно-научного общества курсантов, студентов и слушателей Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова. Материалы конференции. – СПб.: – 2024. – С. 658-663.

Подписано в печать 26.12.2025 г. Формат 60 × 84 1/16

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 194

ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А.В. Хрулёва» Минобороны России,
(ФГКВОУ ВО ВАМТО)

Адрес академии и типографии:

199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8