

На правах рукописи



**СЫЗРАНЦЕВ ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И АППАРАТОВ  
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПИТАНИЕМ  
КОМПАКТНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ В ОБОСОБЛЕННЫХ  
УСЛОВИЯХ ПРОЖИВАНИЯ**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном казённом военном образовательном учреждении высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В.Хрулева» 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.Хрулева»

**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 «21» июня 2024 г. в 15 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/syzrancev/syzrancev\\_diss.pdf](https://klgtu.ru/upload/dissertations/syzrancev/syzrancev_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 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 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 обособленных условиях проживания пищей функционального назначения. 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 В.Я. Груданова, 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, имеющиеся пищевые аппараты не обеспечивают возможность приготовления продуктов питания требуемого качества в установленные сроки для функционального питания компактных групп населения в обособленных условиях проживания.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о наличии противоречия между потребностью организации функционального питания и отсутствием технологического оборудования производства хлеба для организации питания компактных групп населения в обособленных условиях проживания, а также методов разработки их конструкции и процессов эксплуатации.

Этим определяется актуальность темы диссертации и цель ее разработки.

**Цель исследования** – разработка новых процессов и аппаратов для повышения эффективности профилактики и восстановления здоровья заболевших или травмированных людей, обеспечивающих доступность и интенсификацию производства функциональных продуктов питания с требуемыми показателями качества и пищевой ценности в обособленных условиях проживания компактных групп населения.

**Научная задача** исследования заключается в разработке научных подходов к обоснованию использования новых технических и технологических решений совершенствования процессов и аппаратов для обеспечения функциональным питанием компактных групп населения в обособленных условиях проживания на основе методологии и методов газодинамики, теории

машин и механизмов, физико-химического анализа, методов исследования операций и процессов, теории планирования эксперимента.

**Объект исследования.** Технические средства, технологическое оборудование и процессы приготовления пищи для компактных групп населения в обособленных условиях проживания.

**Предмет исследования.** Математические модели и методики обоснования возможностей совершенствования параметров и технических характеристик аппаратов в процессе приготовления функционального питания.

**Границы исследования.** Разработка научно-методического подхода обоснования использования новых физических воздействий (тепловые, ультразвуковые и инфракрасные поля) для совершенствования эксплуатационных характеристик аппаратов приготовления функционального питания для компактных групп населения (вахтовые поселки, геолого-разведочные партии, временные места размещения подразделений МЧС и других силовых структур) в обособленных условиях проживания Крайнего Севера, Арктики, удаленного таежного и горного поселения и др.

Для достижения цели решались следующие основные задачи:

1. Проанализированы факторы повышения эффективности функционального питания в условиях обособленного компактного проживания ограниченных контингентов.

2. Оценены возможности существующих рецептур и технологического оборудования для организации функционального питания в условиях обособленного компактного проживания ограниченных контингентов.

3. Исследованы возможности совершенствования основных конструктивных элементов конвейерной хлебопекарной печи и вспомогательных устройств для производства хлеба.

4. Разработаны предложения по конструктивному устройству конвейерной хлебопекарной печи и вспомогательных устройств для производства хлеба с использованием воздействий физических полей.

5. Проведены экспериментальные исследования аппаратов для приготовления функционального питания в условиях обособленного компактного проживания ограниченных контингентов.

6. Оценена экономическая эффективность применения новых процессов и аппаратов для приготовления продуктов питания функционального назначения.

7. Разработаны практические рекомендации по реализации результатов исследования.

**Научная новизна** диссертации состоит в том, что разработанный научно-методический подход, включающий теоретическое обоснование возможности применения воздействия физических полей, математических моделей описания ультразвуковой рамной мешалки и электроконтактной конвейерной печи с устройствами автоматизированного регулирования управления функционирования, основывающихся на применении синергии полей в технологических процессах, обеспечивающих создание оптимальных режимов подготовки теста и выпечки бескоркового хлеба для функционального

питания, сохранение пищевой ценности ингредиентов рецептуры, снижение меланоидинообразования, возможность корректировки пищевой ценности готовых изделий в зависимости от потребности в них населения.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в разработке научного аппарата обоснования эксплуатационных характеристик аппаратов производства функционального питания 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 рецептов, 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 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 рецептур, разработанных конструкций 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, 25)**, так как в ходе исследования выполнена разработка методики, математической модели и технических решений, применение которых позволит повысить эффективность процессов продовольственного обеспечения населения.

**Основные научные положения и результаты исследования апробированы и реализованы.** Материалы и отдельные результаты по теме диссертации докладывались на: X Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы материально-технического обеспечения войск национальной гвардии Российской Федерации» (г. Пермь, 18 февраля 2022 г.); X Международной научно-практической конференции «Современные проблемы цивилизации и устойчивого развития в информационном обществе» (Москва, 22 июня 2022 г.); Международном научно-исследовательском конкурсе «Молодые исследователи в ответ на современные вызовы» (г. Петрозаводск, 29 августа 2022 г.); XI научно-практической конференции с международным участием «Проблемы материально-технического обеспечения Росгвардии в современных условиях и пути их решения» (г. Пермь, 20 октября 2022 г.); Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров «Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК» (г. Курск, 15 марта 2023 г.); XXVIII Международной очно-заочной научно-практической конференции «Исследование различных направлений современной науки: естественные и технические науки» (Москва, 17 мая 2023 г.); XXX Международной очно-заочной научно-практической конференции «Современные наука и образование: достижения и перспективы развития» (Москва, 07 июня 2023 г.).

Реализованы в: практической деятельности должностных лиц ООО «Проектинтертехника» (акт от 21.12.2023 г.); ООО «Алгоритм» (акт от 12.12.2023 г.); образовательном процессе ВАМТО (акт от 14.11.2023 г.); научно-исследовательской работе научно-исследовательского института (военно-системных исследований МТО ВС РФ) (акт от 21.11.2023 г.), что подтверждается четырьмя актами реализации и внедрения.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе: три статьи 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; семь статей в сборниках научных трудов (международных, всероссийских) конференций и научных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации с приложениями составляет 165 страниц. Диссертация содержит 21 таблицу, 34 рисунка. Список использованной литературы включает 165 наименований. 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 «Обеспечение функциональным питанием компактных групп населения в обособленных условиях проживания»** изучены проблемы организации функционального питания в условиях обособленного проживания групп людей, проведена оценка возможностей совершенствования рецептур, технологии и оборудования для приготовления продуктов функционального питания в условиях обособленного проживания, систематизированы литературные данные о современном состоянии разработки процессов и аппаратов приготовления горячей пищи и хлеба в обособленных условиях проживания, которые обладают лечебными свойствами для людей.

Одной из перспективных тенденций развития технологического оборудования для приготовления 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 «Моделирование рецептур и технологического оборудования приготовления функционального питания в условиях обособленного проживания»** разработаны основные теоретические положения научно-методического аппарата.

В целях расширения ассортимента готовой продукции в главе рассмотрена **возможность корректировки рецептуры хлеба для функционального питания.**

Проблемы корректировки рецептур функционального питания 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 усвояема



организмом человека, она богата макро- и микроэлементами и на 90 % состоит из карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), 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 хлебобулочных изделий для функционального питания 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.**

Для достижения однородности смеси, при добавлении к традиционным ингредиентам добавок, при производстве теста разработана и запатентована месильная камера для замеса теста в месильно-сбивальной машине, месильный орган которой приведен на рисунке 1.

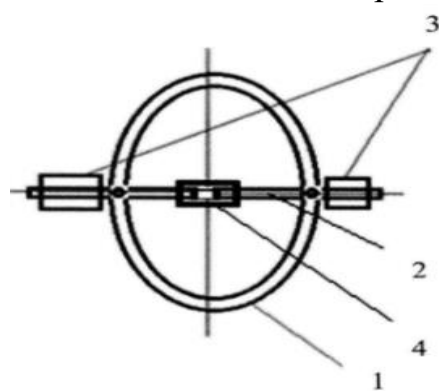


Рисунок 1 – Месильный орган:

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

Месильный орган такой конструкции предполагается устанавливать горизонтально с минимальным зазором относительно днища и выполнять в виде четырех полуэллипсов, расположенных под углом  $90^\circ$  относительно друг друга. Сам вал нужно выполнить в виде двух стержней

из ферромагнитного материала, соединенных неметаллической втулкой.

На каждом из стержней, между стенкой месильной камеры и месильной рамкой, с обеих сторон размещен магнитострикционный элемент для генерирования ультразвукового поля (УЗ).

Следует отметить, что в исследовании разработана рамная мешалка (рисунок 2), обеспечивающая повышение показателей качества белково-жировой композиции за счет турбулизации среды во всей рабочей камере, при кавитационном воздействии на перемешиваемую среду и достижении равномерности распределения ингредиентов.

Проведенные исследования позволили получить более полное представление о сложном механизме подготовки теста с равномерным

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

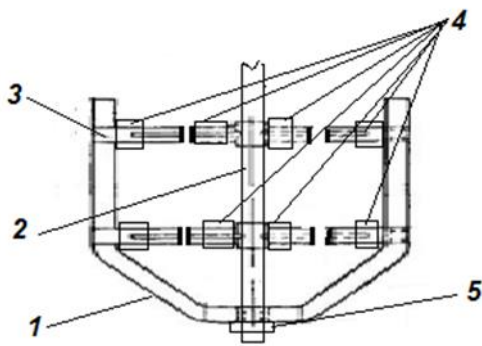


Рисунок 2 – Рамная мешалка (вид сверху)

1 – ступица; 2 – вал; 3 – отрезки труб;  
4 – электромагнитные катушки; 5 – гайка

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  $\alpha$  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:

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

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

При указанных условиях составляющая окружной скорости вдоль оси  $Ox$  будет равна

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

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 3).

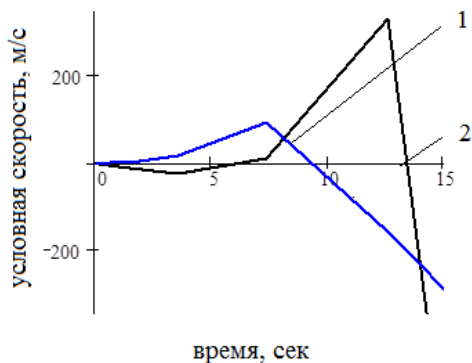


Рисунок 3 – Изменение скоростей движения границ полости в процессе кавитации:

1 – по оси  $Ox$ ; 2 – по оси  $Oy$

(при  $S_{тр} = 100, a=0$ )

Статистическая обработка полученных численных значений методом 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,  $m^3$ ;  $m$  – 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 4.

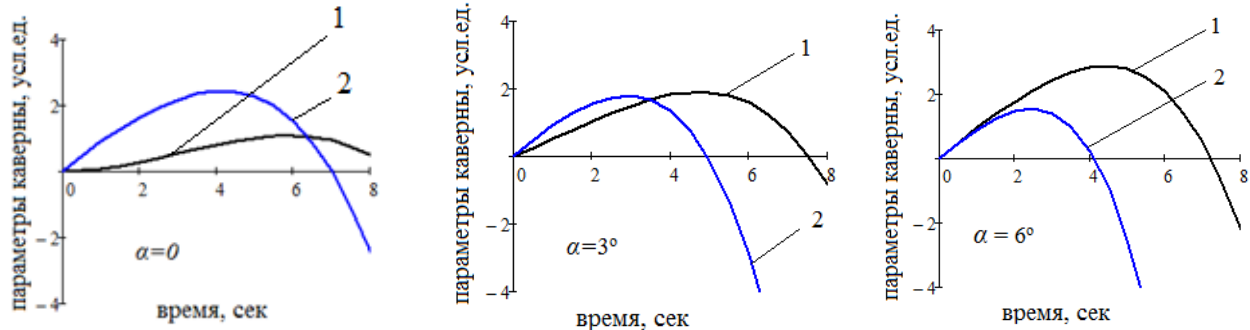


Рисунок 4 – Характер изменения размера каверны (1) и скорости движения кавитационной волны (2)

Проанализировав полученные зависимости, замечено, что смещение полуосей разомкнутого сердечника магнестрикционного механизма существенно влияет на инициируемые УЗ-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 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 5.

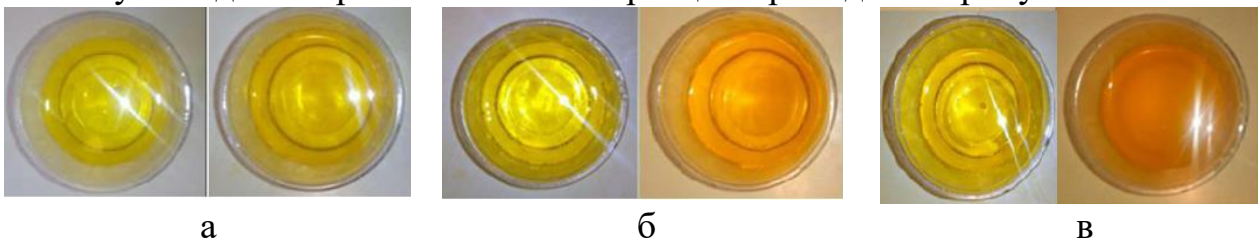


Рисунок 5 – Образцы белково-жировой композиции после нагрева до 120°С: а – без обработки УЗ при нагреве в течение 60 мин; б – с обработкой УЗ при перемешивании и нагреве в течение 60 мин; в – с обработкой УЗ при перемешивании и нагреве в течение 30 мин

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.

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.

Системное решение вопросов совершенствования функционального питания не ограничивается только корректировкой его рецептур. Не менее, а, может быть, даже более значимыми являются исследования по совершенствованию технологического оборудования, предотвращающего потери ценных питательных веществ в процессе переработки пищевого сырья, и недопущению появления вредных для здоровья канцерогенных или других недопустимых в функциональном питании химических соединений.

В связи с этим большое внимание обращается на процессы развития меланоидинообразования. Повышение температуры парогазовой среды при выпечке увеличивает меланоидинообразование. Также нагревание некоторых смесей при температурах выше 150°C стимулирует разрушение важных компонентов пищевых продуктов, таких как аминокислоты.

Эти обстоятельства важны в связи с тем, что в таких условиях происходит изменение содержания белков, углеводов, находящихся в составе полуфабрикатов. Одновременно в процессе полимеризации и конденсации возникающее изменение цветовой гаммы поверхности полуфабриката оказывает влияние на снижение биологической ценности компонентов и в целом изделий.

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 ЭЖ-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/м<sup>3</sup>;  $c_{пф}$  – теплопроводность полуфабриката, Вт/м·К;  $t_{пф}$  – температура тепловой обработки полуфабриката, °С;  $d$  – толщина полуфабриката, м;  $F$  – движущая сила массообменного процесса;  $\tau$  – время тепловой обработки, с;  $\zeta$  – плотность мощности тепловыделений в полуфабрикате, Вт/м<sup>3</sup>.

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:

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

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

Решение зависимости (10) можно представить в следующем виде:

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

Определение результирующей мощности, подводимой к полуфабрикату, осуществляется по зависимости

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

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

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

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

где  $t_{кон}$  – температура конечная, °С;  $t_{н}$  – температура начальная, °С.

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;  $\varphi$  – напряжение, В;  $i$  – сила тока, А.

Типовой график изменения силы тока при ЭК-подводе теплоты к тестозаготовке приведен на рисунке 6.

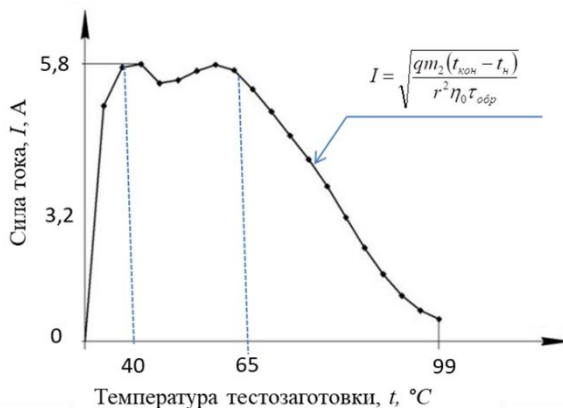


Рисунок 6 – Типовой график изменения силы тока в процессе выпечки:

$m_2$  – масса тестозаготовки, кг;  $t_{\text{кон}}$  – конечная температура тестозаготовки, °С;  $t_{\text{н}}$  – начальная температура тестозаготовки, °С;  $\eta_0$  – коэффициент, учитывающий общие потери энергии;  $\tau_{\text{обр}}$  – продолжительность тепловой обработки;  $q$  – удельное количество теплоты для выпечки хлеба

При выпечке хлеба с использованием ЭК-подвода теплоты напряжение  $\varphi$  остается постоянным. Сопротивление  $R_э$ , в свою очередь, можно определить по зависимости

$$R_э = \frac{\rho_T L}{S'}, \quad (15)$$

где  $\rho_T$  – удельное сопротивление теста, Ом·м;  $L$  – расстояние между электродами, м;  $S'$  – площадь поперечного сечения проводника, для тестозаготовки – произведение длины и высоты тестозаготовки, м<sup>2</sup>.

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

Принципиальная схема инфракрасного энергоподвода в технологии обработки тестозаготовки показана на рисунке 7.

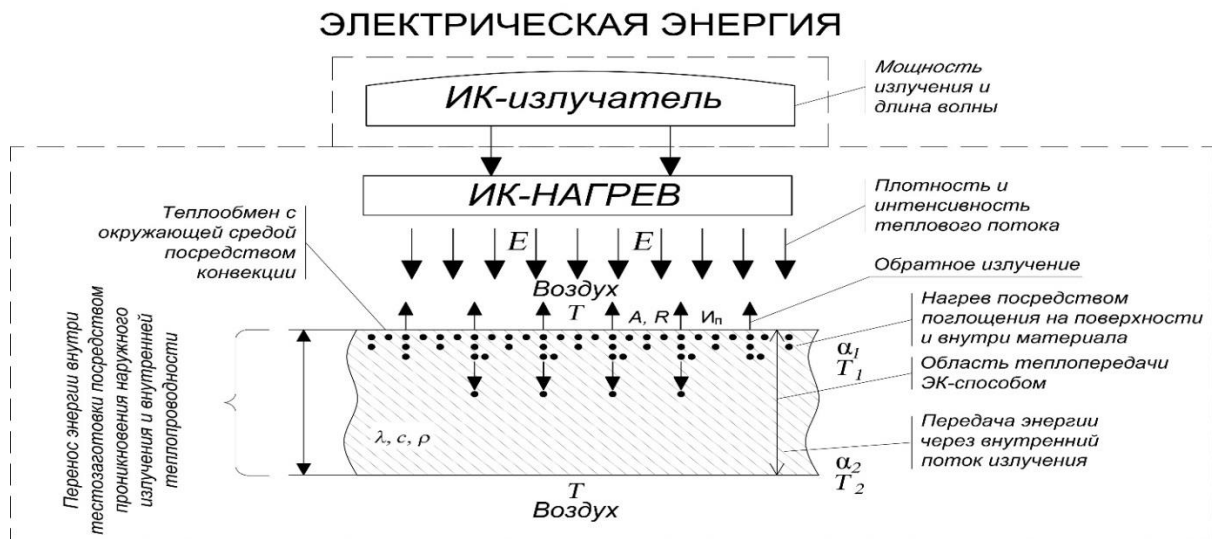


Рисунок 7 – Принципиальная схема ИК-энергоподвода в технологии обработки тестозаготовки:

$T$  – соответственно температура воздуха (сверху, снизу);  $\lambda$  – теплопроводность тестозаготовки;  $A$  – поглощательная способность верхней поверхности;  $R$  – отражательная способность верхней поверхности;  $I_{\text{п}}$  – излучательная способность верхней поверхности;  $\alpha_1$  – коэффициент теплопередачи «воздух-материал» (сверху);  $\alpha_2$  – коэффициент теплопередачи «воздух-материал» (снизу);  $E$  – интенсивность ИК излучения;  $T_1$  – температура верхней поверхности;  $T_2$  – температура нижней поверхности;  $c$  – удельная теплоемкость тестозаготовки;  $\rho$  – 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;  $\delta$  – 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  $\xi_i$  – коэффициент значимости  $i$ -й группы факторов;  $b_{ij}$  – весовой коэффициент отклонения  $j$ -го фактора  $i$ -й группы;  $\Delta y_{ij}$  – 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

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

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/м<sup>3</sup>;  $\Omega$  – угол размещения хлебопекарных форм;  $K_z$  – коэффициент, учитывающий угол наклона ленты.



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

$$l_{обл} = A_0/V, \quad (19)$$

где  $A_0$  – площадь облучаемой поверхности внутри пекарной камеры,  $m^2$ ,

$$A_0 = Vv_{тз}\tau, \quad (20)$$

$v_{тз}$  – скорость перемещения тестозаготовки под излучателями,  $m/c$ ;

$$v = P_{экл}/pVd, \quad (21)$$

где  $d$  – толщина обрабатываемой тестозаготовки,  $m$ .

С использованием предложенной методики 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 8.

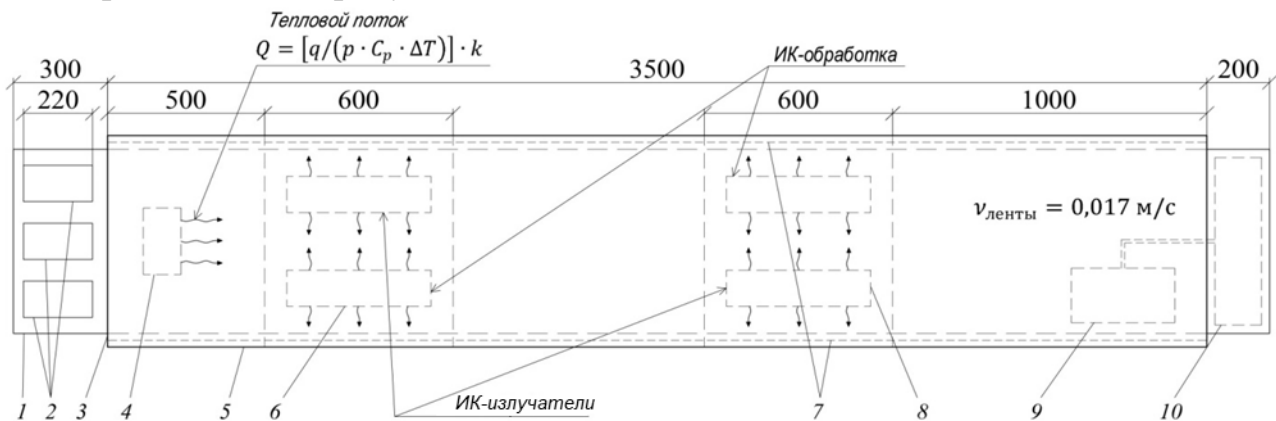


Рисунок 8 – Принцип работы конвейерной хлебопекарной печи:

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 методики 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 технологического оборудования для приготовления функционального питания в условиях обособленного проживания**», в целях экспериментальной проверки пригодности технических и технологических разработок для практического применения в обособленных 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 «Алгоритм» 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. $I_{nc} = 4-5$ 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 9 показано влияние сорта муки и влажности тестозаготовки на показатели качества готовых изделий;

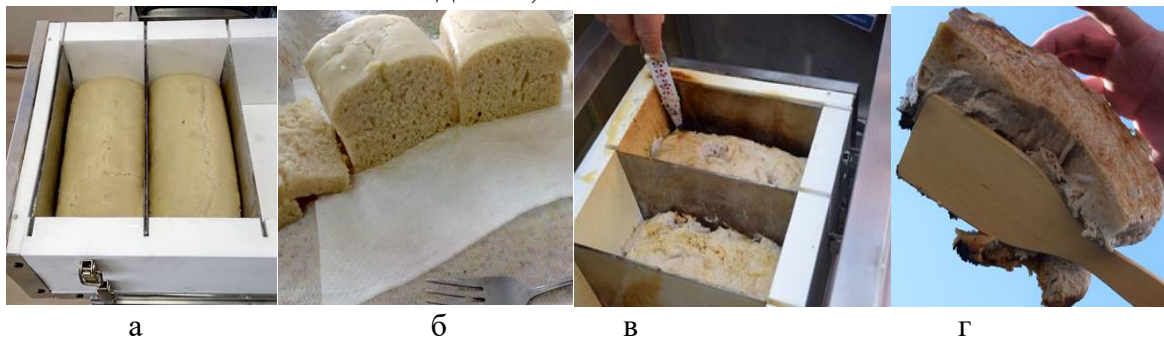


Рисунок 9 – Результаты экспериментальных исследований:

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 ( $W_{\text{теста}}=58\%$ )

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;

б) 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;

7) сравнительная оценка показателей качества бескоркового хлеба (выпеченного с использованием предложенных аппаратов) показана на рисунке 10. 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.

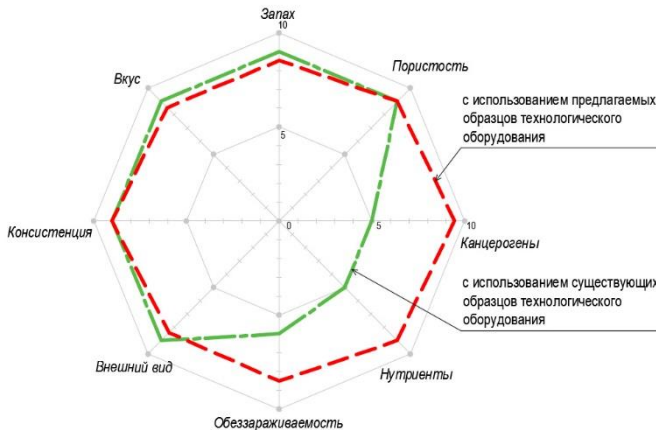


Рисунок 10 – Лепестковая диаграмма характеристик качества продуктов питания

Таким образом, результаты экспериментальных исследований показали, что испытанные технологические разработки обеспечивают не только повышение эффективности производства хлеба, но и путем использования пищевых волокон и минеральных добавок позволяют расширить ассортимент. Предложенное технологическое оборудование и улучшает органолептические показатели хлеба на 12-16 %, способствует повышению пищевой ценности на 9-12 % и снижению продолжительности производства продуктов питания и трудозатрат на 18-22 %.

В четвертой главе «**Оценка эффективности и рекомендуемые усовершенствования технологического оборудования**» обобщены принципы оценки эффективности новых технических разработок, предложены рекомендации по применению разработанной пекарной камеры конвейерной хлебопекарной печи, рамочной 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.

Основная цель исследования – являлась разработка автоматизированного устройства, обеспечивающего непрерывный контакт тестозаготовки с поверхностями нагрева и фиксированный стабильный режим выпечки. Объектом исследования стала хлебопекарная электрическая камера, оснащенная биметаллической пластиной, выполняющей роль автоматического регулятора (рис. 11).

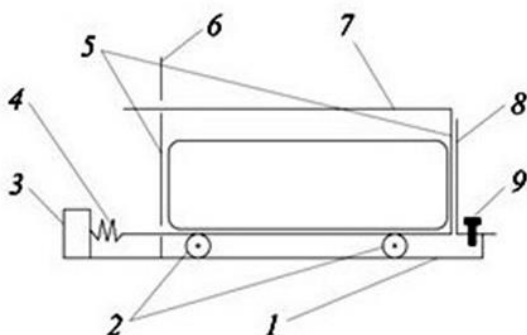


Рисунок 11 – Конструкция электродоуховенной камеры:  
1 – платформа; 2 – подшипники качения; 3 – фиксатор; 4 – пружина; 5 – нагревательные элементы; 6 – боковая стойка; 7 – съемная крышка; 8 – пластина; 9 – стопор

Технико-экономическая эффективность от реализации предложенных технических и технологических решений представлена на рисунке 12.

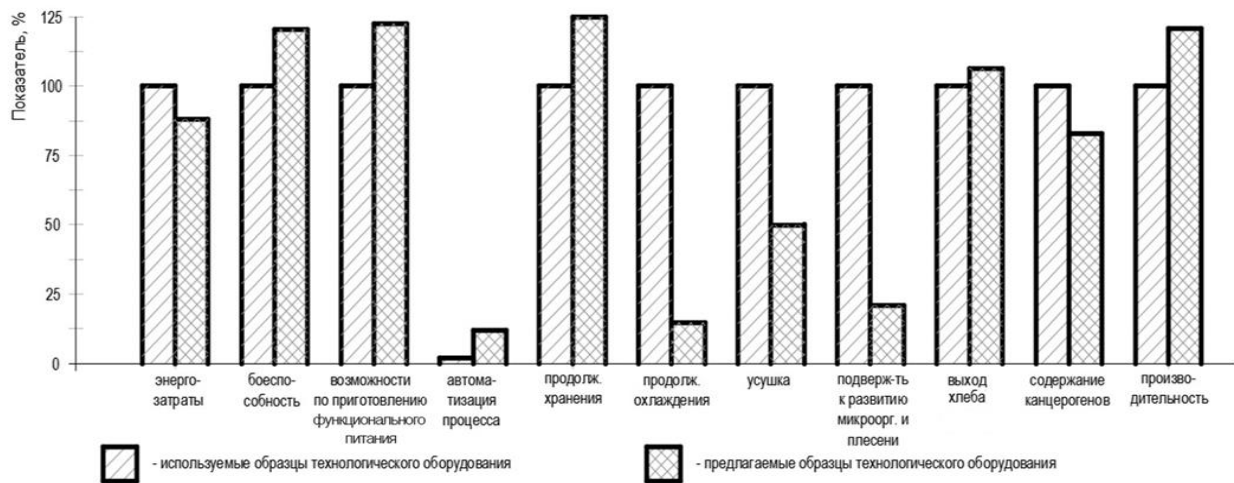


Рисунок 12 – Технико-экономическая эффективность от реализации предложенных технических и технологических решений

Проведенная оценка показала, что применение предложенного технологического оборудования для приготовления продуктов питания для функционального питания обеспечивает повышение эффективности функционального питания в целом, а экономия от включения его в состав комплекта технологического оборудования приготовления пищи в обособленном районе 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:

установлено, что организация функционального питания потребителей в условиях обособленного проживания является необходимым мероприятием. Значительное место в рационе питания потребителей по объёму продукта и содержанию нутриентов занимает хлеб. Процессы его производства позволяют корректировать пищевую ценность;

оценена возможность корректировки рецептов, процессов и аппаратов приготовления продукта функционального питания – с повышенным содержанием пищевых волокон, обогащенного кальцием, обеспечивающего физиологические преимущества и снижающего риск развития хронических заболеваний, а также имеющего дополнительные свойства по выведению из организма побочных (вредных) продуктов жизнедеятельности людей в условиях обособленного проживания. Результатом оценки является предложение по совершенствованию рамной мешалки и конвейерной хлебопекарной печи для производства бескоркового хлеба;

разработаны рекомендации по совершенствованию основных конструктивных элементов конвейерной хлебопекарной печи и

вспомогательных устройств для производства хлеба за счет комбинирования физических процессов тепловой обработки тестозаготовки, что позволяет приготовить продукт функционального питания с установленным химическим составом, энергетической ценностью и физическими свойствами, оказывающими влияние на восстановление нарушенных или утраченных в результате заболевания или ранения функций организма, профилактику этих нарушений, а также на повышение адаптивных возможностей организма;

разработаны предложения по конструктивному устройству конвейерной хлебопекарной печи и вспомогательным устройствам для производства хлеба. Разработана методика расчета рамной мешалки, обеспечивающей повышение степени унификации основных элементов конструкции и тем самым решающей задачу упрощения конструкции аппарата;

результаты экспериментальных исследований показали, что предложенные технические решения обеспечивают интенсификацию производства хлеба для функционального питания за счет сохранения в готовых изделиях нутриентов и снижения канцерогенов;

оценена экономическая эффективность с использованием методов и критериев принятия технических решений. Проведенная оценка показала, что применение предложенного технологического оборудования для приготовления продуктов функционального питания обеспечивает повышение его эффективности и способствует сокращению сроков восстановления трудоспособности пациентов. Экономия от включения его в штат может составлять более 0,5 млн. руб. в год;

разработаны практические рекомендации по внедрению научных результатов совершенствования технологического оборудования и технологических процессов приготовления функционального питания для трудовых коллективов, проживающих в обособленных условиях. Предложены направления дальнейших исследований в области совершенствования технического оснащения малочисленных групп людей и обеспечения их современными образцами аппаратов для механической и тепловой обработки, что позволит повысить эффективность организации питания.

### **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.

### Патенты на полезные модели:

4. **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.

5. **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:

6. 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.

7. Математическая модель приготовления пищи в полевом пароварочном аппарате: Свидет-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:

8. **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.

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

10. **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.

11. **Сызранцев, Д.В.** Влияние новых технических разработок на ресурсосбережение переработки пищевого сырья / Д.В. Сызранцев // В сборнике: 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.
12. **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.
13. **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.
14. **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.
15. **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.
16. **Сызранцев, Д.В.** Изменение органолептических и физико-химических показателей качества рыбных паст при хранении / Д.В. Сызранцев, А.А. Бирченко // Научные записки академии. 2023. № 2 (46). С. 56-60.
17. **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.
18. 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.

Подписано в печать 17.04.2024 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.Хрулева» Минобороны России,  
(ФГКВОУ ВО ВАМТО)

Адрес академии и типографии  
199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8