

Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В.Хрулева»
Министерства обороны Российской Федерации

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)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, доцент
Романчиков С.А.

Санкт-Петербург – 2024

СОДЕРЖАНИЕ		стр.
Введение		4
Глава 1	ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПИТАНИЕМ КОМПАКТНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ В ОБОСОБЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРОЖИВАНИЯ	14
1.1	Существующие проблемы организации функционального питания в условиях обособленного проживания.....	14
1.2	Оценка возможностей совершенствования рецептур, технологии и оборудования для приготовления продуктов функционального питания в условиях обособленного проживания	20
1.3	Состояние разработок оборудования для повышения его универсальности по приготовлению функционального питания. Постановка цели и задач исследований	37
	Выводы по главе	45
Глава 2	МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУР И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ОБОСОБЛЕННОГО ПРОЖИВАНИЯ	47
2.1	Возможности корректировки рецептуры хлеба для функционального питания	47
2.2	Моделирование рамной мешалки для приготовления белково-жировых эмульсий и обоснование ее конструкции..	60
2.3	Моделирование пекарной камеры для электроконтактной выпечки хлеба в поле инфракрасного излучения и обоснование технологических параметров ее работы	67
	Выводы по главе.....	79
Глава 3	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ОБОСОБЛЕННОГО ПРОЖИВАНИЯ	81

3.1	Методика планирования экспериментальных исследований ...	81
3.2	Результаты экспериментальных исследований аппаратов для приготовления функционального питания	93
3.3	Рекомендации по применению разработанной рамной мешалки в целях подготовки белково-жировых эмульсий для приготовления теста и пекарной камеры при выпечке бескоркового хлеба	98
	Выводы по главе	104
Глава 4	ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕКОМЕНДУЕМЫЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	106
4.1	Общие принципы оценки эффективности новых технических разработок	106
4.2	Рекомендации по применению устройства автоматизированного контроля компенсации упека при электроконтактной выпечке хлеба	116
4.3	Рекомендации по формированию и итоговые результаты технико-экономического анализа эффективности выполненных разработок	122
	Выводы по главе	128
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	128
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	131
	СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	132
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	134
	ПРИЛОЖЕНИЯ	153

ВВЕДЕНИЕ

В целях реализации Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года, Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, Стратегии повышения качества пищевой продукции до 2030 года, Стратегии национальной безопасности [36, 102-105] требуется разработка новых технических и технологических решений совершенствования процессов и аппаратов пищевых производств, позволяющих обеспечить компактные группы населения в обособленных условиях проживания пищевой функционального назначения.

Правильно организованное питание, в том числе функциональное – это один из главных факторов укрепления здоровья, физического развития и профилактики населения, его устойчивости к различным нагрузкам и воздействиям в повседневной обстановке, а также восстановления сил в период заболевания или после полученных травм [108,122].

Полноценное питание влияет на снижение продолжительности реабилитации, а значит, в целом и на повышение работоспособности после перенесенной травмы или заболевания. Своевременное доведение до организма человека требуемых нутриентов, в частности белков, жиров, углеводов, липидов, витаминов, микро- и макроэлементов, оказывает положительный эффект на течение обмена веществ. Это способствует усилению репаративных процессов и ускоряет восстановление нарушенных структур и функций организма, а также нормализует функциональное состояние организма, физическую и умственную активность [131]. Необходимо отметить, что функциональному питанию отводится особая роль

в условиях компактного обособленного проживания потребителей, например, при освоении новых территорий в районах Крайнего Севера, Арктики, геолого-разведочных партий, на предприятиях, работающих в режиме вахтового метода, в горячих точках и других [12, 29,72].

Поступающее для организации питания таких контингентов продовольствие должно содержать продукты питания, богатые витаминами и минеральными веществами. Не менее важной задачей является обеспечение условий сохранения пищевой ценности исходного сырья в процессе механической и тепловой обработки продуктов питания, а также повышение возможности корректировки пищевой ценности готовых блюд в зависимости от потребностей организма от климатических условий, повышенной энергонапряженности или стрессовых нагрузок.

В целях доведения в конечном продукте питательных веществ до травмированного или больного человека в зависимости от его состояния (органов дыхания, органов пищеварения, травматологического профиля и т.д.) требуется технологическое оборудование, обеспечивающее приготовление пищи, отвечающей характеру диеты необходимого функционального питания.

При размещении групп населения в обособленных условиях проживания они должны иметь в штате аппараты для приготовления горячей пищи и производства хлеба, обеспечивающие процессы производства продовольствия в закрытых и ограниченных пространствах. Необходимо отметить, что большинство существующих образцов аппаратов пищевых производств не обеспечивают автоматизацию управления процессом производства, снижение образования меланоидинов и канцерогенов в процессе тепловой обработки [28, 151, 159]. Следует отметить, что устранение таких недостатков обуславливает необходимость поиска новых технических и технологических решений, обеспечивающих снижение влияния посторонних факторов на показатели качества готовой пищи и продолжительность ее приготовления [30, 31].

В связи с этим требуется разработка нового технического оборудования для обеспечения потребителей функциональными продуктами питания в процессе выполнения задач по предназначению в обособленных условиях проживания [32, 33]. Решение этой задачи может основываться на достижениях современных технологий, используемых в пищевых производствах и машиностроении.

Ранее выполненные исследования Л.Я. Ауэрмана, А.Н. Барышникова, Ю.Ф. Заяс, А.С. Гинзбурга, Л.И. Кузнецовой, Н.Н. Липатова, В.И. Маклюкова, Г.О. Магомедова, А.М. Маслова, А.Г. Новоселова, А.Н. Острикова, П.А. Ребиндера, И.М. Скурихина, В.Д. Суркова, Д.И. Ялалетдиновой, Н.П. Янушкина, J.C. Bakera, В. Zononi и других [13, 14, 56, 59, 61, 69, 70, 73, 101, 134, 136, 137, 148] внесли существенный вклад в теорию и практику изучения влияния различных энергетических полей в целях использования их в технологических процессах приготовления пищи, в частности в производстве хлебопродуктов. Основоположниками научных рекомендаций по разработке технологии производства хлеба с применением электроконтактного способа выпечки являются Л.Я. Ауэрман, Г.А. Сидоренко, Я.Г. Островский, Ф.Г. Шумаев и другие. [13, 57, 74, 97].

По результатам исследований авторов, таких как В.И. Бабенкова, С.А. Громцева, Н.А. Ермошина, В.Л. Кретовича, О.И. Николук, А.Н. Пономарева, А.Н. Шаронова, А.А. Целыковских и других [38, 39, 55, 68, 81, 121, 128, 129], разработаны образцы нового технологического оборудования и процессы приготовления пищи в особых условиях, которые не всегда учитывают особенности приготовления пищи функционального назначения.

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 [10,21,35,90,122] легли в основу обоснования физиологических потребностей при различных заболеваниях в витаминах и макро- и микроэлементах, а также механизмов действия различных нутриентов на организм человека в

ходе профилактики заболеваний. Результаты их работ доказывают, что питание является неотъемлемой частью комплексной терапии больных или травмированных людей. Пища с сохранением высокого уровня нутриентов и минимальным количеством в продуктах меланоидинов и канцерогенов предотвращает развитие осложнений, ускоряет заживление травм и восстановление нарушенных функций.

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых разработке технологического оборудования для производства хлеба, имеющиеся аппараты не обеспечивают возможность его производства ускоренным способом требуемого качества, в условиях ограниченного пространства, для функционального питания потребителей при обособленном компактном проживании.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о наличии противоречия между потребностью организации функционального питания и отсутствием технологического оборудования производства хлеба для организации питания небольшого количества людей в указанных условиях, 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 поставленной цели определены частные научные задачи исследования:

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

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

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

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

5. Провести экспериментальные исследования технологического оборудования для приготовления функционального питания в условиях компактного проживания ограниченных контингентов.

6. Оценить экономическую эффективность применения новых процессов и аппаратов для приготовления продуктов питания функционального назначения.

7. Разработать практические рекомендации по реализации результатов исследования.

Научная новизна диссертации состоит в том, что разработан 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.

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.

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 натурных испытаний технологического оборудования; внедрением предложенных аппаратов в практику организации функционального питания.

Методологической основой исследования являются результаты исследования в области научного обоснования совершенствования процессов и аппаратов приготовления пищи на основании воздействия физических полей в других отраслях пищевых производств.

Основными методами исследования являются методы физико-химического анализа, методы механики сплошных сред, тепло-массообменные методы, методы теории управления качеством и экономическим анализом, методы исследования операций и процессов, теории вероятности и математической статистики и теории планирования эксперимента.

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 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.

Рассматриваемая проблематика имеет прямое отношение к научной специальности **4.3.3. «Пищевые системы»** (пунктами **20, 21, 25**), так как в

ходе исследования выполнена разработка методик, 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 научном журнале.

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.

Глава 1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПИТАНИЕМ КОМПАКТНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ В ОБОСОБЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРОЖИВАНИЯ

1.1 Существующие проблемы организации функционального питания в условиях обособленного проживания

Качество пищи является важнейшим критерием, воздействующим на организм человека – на физическую активность и работоспособность, а также на его уровень резистентности к внешним факторам.

Известно, что в условиях компактного обособленного проживания потребителей в целях ускорения адаптации организма и обеспечения его нужными нутриентами требуется соблюдение условий по организации питания с учетом особенностей функционального питания. Условия проживания регламентируют и требования к пищевому рациону (по энергетической ценности, химическому составу, набору продуктов, массе и промежуткам приёма пищи). На организацию питания возлагается большая задача. Оно должно быть не только полноценным, но и рациональным, сбалансированным, с учетом факторов трудовой деятельности потребителей и условий их проживания. Особенности проживания коллективов имеют ряд особенностей, связанных с удалением от мест пополнения запасов, ограниченностью людских, энерго- и материальных ресурсов, жилого и технологического пространства для приготовления и приема пищи.

Под технологическим оборудованием приготовления пищи понимают пищевые аппараты, обеспечивающие приготовление горячей пищи, а также производство хлеба. Под функциональным питанием в исследовании понимаются продукты, которые употребляются в пищу ежедневно и обогащены минеральными веществами, при минимальном содержании

канцерогенов и мелоидообразований в условиях усиления репаративных процессов и восстановления нарушенных структур и функций организма, а также нормализации функционального состояния организма, физической и умственной активности.

Функциональное питание оказывает большое влияние на обмен веществ и общее состояние организма, повышает устойчивость к влиянию различных неблагоприятных факторов окружающей среды и направлено на предотвращение развития осложнений и хронических заболеваний, ускорение заживления ран и сокращение сроков восстановления работоспособности [37].

Рассматривая функциональное питание, можно сказать, что его влияние на организм потребителя – это главенствующий элемент комплексной терапии адаптации, травмированных или больных членов коллектива. Оно характеризуется большим последствием на метаболизм и общее состояние организма. Благодаря быстро скорректированному и адекватному в зависимости от ситуации питанию во время адаптации возможно сокращение риска развития осложнений, перерастающих затем в хронические заболевания. Верно подобранные пищевые нутриенты ускоряют заживление ран и сокращают период восстановления организма после болезни.

Синтетические лекарственные средства не усваиваются организмом в достаточном для профилактики количестве и могут вызывать аллергию. Наряду с ними в средствах натурального происхождения биологически активные вещества находятся в равных, а зачастую и в превышающих в лекарственных веществах синтетического происхождения долях [111,160]. Так, многие питательные вещества, входящие в состав пищевых продуктов, оказывают функциональное воздействие благодаря своим бактерицидным, противовоспалительным и регенерирующим свойствам [112,147].

В сложных природно-климатических условиях набор продовольствия в рационе потребителей должен обеспечивать сбалансированное питание.

Несмотря на большое количество продуктов питания, хлеб остается незаменимым видом продовольствия и используется во всех регионах проживания людей. Хлеб занимает основное место по массе и пищевой ценности в суточном рационе, несмотря на то что для его производства из муки требуется более 5 часов.

Доказано, что отсутствие в рационе необходимого количества микро- и макронутриентов в особых условиях отрицательно влияет на здоровье большей части населения. Их недостаточность является основной причиной развития и распространения хронических неинфекционных заболеваний (атеросклероз, инсулинозависимый диабет, ожирение, артериальная гипертензия, метаболическая иммунная резистентность, аутоиммунные заболевания, заболевания опорно-двигательного аппарата, онкологическая патология и т. д.). Недостаток эссенциальных макро- и микроэлементов занимает первое место среди причин болезней и смертности. Основной причиной этого является снижение количества макро- и микроэлементов в пищевых продуктах, входящих в ежедневный рацион [86].

Следует отметить, что хлеб и хлебобулочные изделия с несбалансированным аминокислотным, минеральным и белково-углеводным содержанием зачастую занимают особое место в рационе групп. Сегодняшняя технология приготовления хлеба включает дополнительные добавки по рецептуре: хлебопекарное тесто, клейковину, подсластители, консерванты, ароматизаторы, а также стабилизаторы, вызывающие различные виды кислотно-щелочного баланса и оказывающие негативное влияние на микрофлору кишечника.

Использование сахара в рецептуре приготовления хлеба обеспечивает высокий гликемический индекс готового продукта, что вызывает нагрузку на желудок и нежелательно для питания при некоторых заболеваниях.

Рациональное питание травмированных и больных людей, а также людей, находящихся в стрессовой ситуации, помогает сохранить высокую работоспособность, противостоять различным неблагоприятным

физическим, химическим и биологическим факторам, сократить сроки адаптации, предотвратить осложнения и успешное выздоровление.

Эффективность других звеньев функционального процесса, ход и исход ликвидации травм и заболеваний во многом зависят от полноценного питания травмированного и больного организма. Современное развитие пищевой технологии позволяет решить ряд задач при производстве пищевых продуктов без применения специальных химикатов и одновременно решить проблемы эффективного использования пищевого сырья, например при пищевой переработке вторичных источников питания. Это тем более важно, поскольку извлечение из него ценных компонентов, таких как пищевые волокна, инулин и пектин, может оказаться ценным для уменьшения экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды и ростом связанных с этим заболеваний.

Такие подходы хороши для решения текущей задачи дальнейшего совершенствования диет функционального питания. Очевидным решением этой ситуации является увеличение потребления пищевых волокон. В качестве такой клетчатки пектин, полисахарид присутствуют почти во всех растительных материалах. Благодаря сочетанию комплексных и абсорбционных свойств пектин повышает чувствительность организма и выводит из всасывания вредные вещества. Пектиновые вещества могут найти широкое применение не только в пищевом производстве, но и в медицине и косметологии в качестве загустителей, заменителей жиров, эмульгаторов и увлажнителей.

В связи с этим необходимо разработать технологии производства пектина из традиционного и альтернативного сырья. Одним из таких видов сырья является топинамбур - распространенная сельскохозяйственная культура. Топинамбур богат витаминами, минералами, органическими кислотами и аминокислотами, которые не могут синтезироваться организмом человека. Некоторые трудности возникают при определении подходящего способа извлечения пектина из топинамбура. Полученные

экспериментальные испытания показывают возможность замены соляной кислоты на лимонную при производстве пектина и желательность промывки готового продукта горячей водой.

Основные вопросы функционального питания связаны с употреблением в пищу качественного хлеба. Приготовление теста и выпечка такого хлеба осложнены реакцией меланоидообразования, возникающей в конечном процессе.

Данная реакция относится к реакции Майяра или карамелизации и возникает при воздействии повышенных температур на аминокислоты и сахара, содержащиеся в тесте в процессе выпекания хлеба. Чем дольше и более высоким температурам подвергается тестовая заготовка, тем больше меланоидинов образуется на поверхности (в корке) готового хлеба [135]. И, соответственно, чем дольше длится реакция, тем темнее становится цвет хлебной корки, повышается сладость и усиливается аромат изделия.

Но стоит отметить, что нагрев теста в печи выше 150 °С приводит к разрушению аминокислот. Также от температурного режима и продолжительности выпечки зависит интенсивность и качество прохождения реакции Майяра [135]. Например, меланоидины, выделяемые при более высоких температурах (выше 100 °С), за непродолжительное время нагрева таких компонентов теста, как глицерин и глюкоза (в течение 2 часов), содержат большее количество углерода, чем меланоидины, полученные при нагреве той же смеси при температуре 56 °С в течение 250 часов. При этом интенсивность окраски смешанных ингредиентов по окончании химической реакции может быть одинаковой.

Структурные особенности аминного компонента, такие как наличие функциональных групп, заряда, пространственная конфигурация и размер молекулы, могут влиять на скорость реакции меланоидинообразования. Например, аминные соединения с активными функциональными группами, такими как амино-, оксо- или гидроксильными группами, могут проявлять большую реакционную активность и способность к образованию

меланоидинов. Кроме того, наличие заряда в молекуле амина может также влиять на реакционную активность, например, амины с положительным зарядом могут проявлять большую активность при образовании меланоидинов [135].

Условия реакции, такие как pH и температура, также оказывают значительное влияние на интенсивность протекания реакции меланоидинообразования. Например, при более низком pH и повышенной температуре реакция может протекать более активно, так как это способствует образованию активных промежуточных продуктов и ускоряет химические реакции [151].

Таким образом, интенсивность протекания реакции меланоидинообразования зависит как от строения аминного компонента, так и от условий реакции и может быть модулирована для достижения оптимальных результатов.

Результаты проведенных исследований [22,48] свидетельствуют о том, что длительная и интенсивная термическая обработка может привести к значительному снижению содержания свободных аминокислот и восстанавливающих сахаров в продуктах, а также ухудшить их биологическую ценность. Поэтому при приготовлении пищи рекомендуется выбирать более щадящие (низкие температурные режимы) и короткие методы термической обработки, чтобы минимизировать потерю питательных веществ и сохранить биологическую ценность готового изделия.

В данном вопросе также не последнюю роль играет необходимость тщательного перемешивания компонентов теста для равномерного распределения белково-жировых компонентов и сахаров, что обеспечивает в процессе выпечки равномерность окраски и предотвращение появления избыточного количества меланоидинов.

Таким образом, анализ организации функционального питания потребителей в условиях обособленного проживания показал, что важным является обеспечение интенсификации производства продуктов питания, с

сохранением пищевой ценности исходных компонентов и возможности корректировки ее в готовом продукте. Значительную роль по объёму в рационе и содержанию нутриентов в питании потребителей играет хлеб, процессы его производства позволяют корректировать его пищевую ценность. Повышение автоматизации процесса производства и расширение функциональных возможностей аппаратов для производства хлеба в условиях обособленного проживания являются приоритетными задачами настоящего исследования.

1.2 Оценка возможностей совершенствования рецептур, технологии и оборудования для приготовления продуктов функционального питания в условиях обособленного проживания

Изучая топинамбур, специалисты, занимающиеся подбором функциональных ингредиентов для добавления в рецептуру выпечки, отмечают, что он отличается своей устойчивостью к воздействиям окружающей среды и хорошо себя чувствует в различных почвенных и температурных условиях [106]. Его культивируют во многих частях мира из-за его способности адаптироваться к различным средам обитания и устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам. Помимо своей твердости, растение также известно своей ценностью в качестве биомассы, используемой в биомедицинской и химической промышленности. Различные фитохимические вещества, такие как фенолы, флавоноиды, кумарины, ненасыщенные жирные кислоты, производные полиацетилена, сесквитерпены, белки, аминокислоты, сахара, органические кислоты, лактоны, сердечные гликозиды, терпеноиды, линолевая, α -линолевая кислота и инулин, присутствуют в различных частях растения (стебли, листья, цветы и корни) [41, 142,150,152].

После проведения масс-спектрокопии авторы обнаружили, что группы белков могут дублироваться в двух из трех повторов (2102 группы белков) с

использованием трех разных образцов. Эти белки часто дополнительно анализируются исследователями в разных странах [140]. В таблице 1.1 показано общее количество белков в каждом образце.

Таблица 1.1 – Количество белков в образце с коэффициентами кратности [41]

Образец	Вид 1	Вид 2	Вид 3	Общие белки во всех повторях	Стандартное отклонение	Коэффициент репликации	Коэффициент вариации
1	1917	1966	1955	1780	25,71	0,915	8,5
2	1901	1898	1920	1732	11,93	0,909	9,1
3	1887	1917	2439	1701	31,0	0,817	18,26

Анализ экспериментальных исследований в области повышения пищевой ценности продуктов питания показал, что пектин топинамбура возможно использовать в различных биотехнологических процессах, таких как производство пищевых добавок, фармацевтических препаратов, косметических средств и др. Благодаря своим свойствам пектин топинамбура может быть использован в качестве эффективного комплексообразователя для удаления токсических веществ и тяжелых металлов из воды и почвы. Его высокая водорастворимость облегчает его использование в процессах ферментации и биохимического синтеза. Пектин топинамбура имеет лечебные свойства и может быть использован в медицине для лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта, а также для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. Выводы этих исследований подтверждают большой потенциал пектиновых веществ, выделенных из корней топинамбура, в различных отраслях науки и промышленности. Пектин, полученный из топинамбура, лучше связывает и удерживает влагу и другие ингредиенты в пищевых продуктах в шесть раз сильнее, чем пектин, полученный из традиционного сырья, такого как яблочные выжимки или кожура цитрусовых. Это делает пектин из топинамбура более эффективным и полезным ингредиентом для использования в пищевой промышленности, особенно при производстве продуктов с высоким содержанием влаги, таких

как джемы, повидло и соусы. Кроме того, пектин из топинамбура может быть также использован в фармацевтической и косметической промышленности для создания гелирующих и стабилизирующих свойств в продуктах, по мнению авторов [7, 9, 38, 45, 93, 153, 161, 164, 165].

Исследования, проведенные казахстанскими учеными по определению пектиновых веществ, выделенных из топинамбура (*Helianthustuberosuse*), с использованием физических и химических методов (элементный анализ, ИК-спектроскопия, ЯМР-спектроскопия), показали, что выход из сырья, выращенного в Карасайском районе, составил 17-18 %, а в Мактааральском районе - 20-21 %.

По данным автора [161, 164, 165], анализ пектина, полученного методом экстракции топинамбура раствором лимонной кислоты, показал улучшение его прежних физико-химических свойств, характеризующихся более высокой детоксикационной активностью (уронидный компонент ($85,3 \pm 1,1$ %)), степень этерификации ($7,2 \pm 0,3$ %), содержание свободных карбоксильных групп ($41,4 \pm 0,3$ %) и прочность связи ионов свинца ($310,8 \pm 3,8$ мг/г). Так, разные данные, полученные авторами в результате исследований топинамбура, показывают, что содержание пектина очень велико, однако о методах его экстракции в литературе имеются лишь частичные сведения [106].

При этом введение новых ингредиентов в состав рецептур хлебобулочных изделий должно осуществляться с необходимым согласованием новых рецептур с возможностями соответствующего технологического оборудования для приготовления и выпечки теста.

Успешное решение подобных задач связано с новым и усовершенствованием старого технологического оборудования и базируется на всестороннем знании существующих конструкций, их эксплуатации, технологических и экономических характеристик.

Оборудование для выпечки хлебобулочных изделий классифицируется по нескольким критериям:

- технология, определяющая ассортимент выпускаемой продукции (универсальный или ограниченный);

- способ получения тепла для печи (может быть индивидуальным с одним или несколькими топочными устройствами);

- централизованный способ получения тепла (газа или электричества для нескольких топочных устройств одновременно).

Различные способы разогрева хлебобулочных изделий описаны в научной и учебной литературе [23,24,27,55].

Хлебопекарные печи делятся на подовые, в которых топливо сжигается в пекарной камере, с теплопередачей пара с помощью нагревательных трубок (трубок Перкинса); со смешанным отоплением (с паровыми трубами и воздуховодами); с конвективным нагревом (в пекарной камере циркулирует нагретый воздух). Производители хлебопекарного оборудования особое внимание уделяют духовкам: с электронагревом, инфракрасным обогревом, путем нагревания токами СВЧ и др. Современные разработки и модернизации в основном касаются дополнительной механизации отдельных агрегатов: печи, конвейера и разработке новых цепных, пластинчатых и люльковых конвейеров для печей; исследований и разработке новых материалов для печей с ленточным или сетчатым (стальная лента, сетчатая лента) приводом [66].

Особое внимание уделено автоматизации производственной линии, состоящей из печи с конвейерным основанием, конвейерного расстойного шкафа, устройств для резки и укладки изделий в печь и опускания печи, устройств, автоматически регулирующих скорость конвейера, параметров паровоздушной среды хлебопекарной камеры и др.

Учитывая особенности образа жизни потребителей лечебного питания, остановимся подробнее на небольших хлебопечках с электрическим нагревом.

Малогабаритная трехступенчатая печь МХПЭ. Предназначена для выпечки хлеба, ржано-пшеничного, пшеничного хлеба и небольших

хлебобулочных изделий. Печь состоит из внутреннего и внешнего каркаса (рис. 1.1), между которыми находится слой теплоизоляции.

Внутренняя рама имеет высоко установленные 3 съемные хлебные камеры. Пекарная камера 1 выполнена в виде коробки из сварных пластин, одна из которых имеет отверстие для размещения заготовки. Проем закрывается двухконтурной дверью и закрепляется решетками. В камере имеется паровая трубка-увлажнитель для подачи пара при выпечке пшеничного хлеба и 4 направляющие для форм. Пароотводящие каналы приварены к задним стенкам пекарных камер и соединены с общим парогазоходом заслонкой, закрывающейся при выпечке пшеничного хлеба 6.

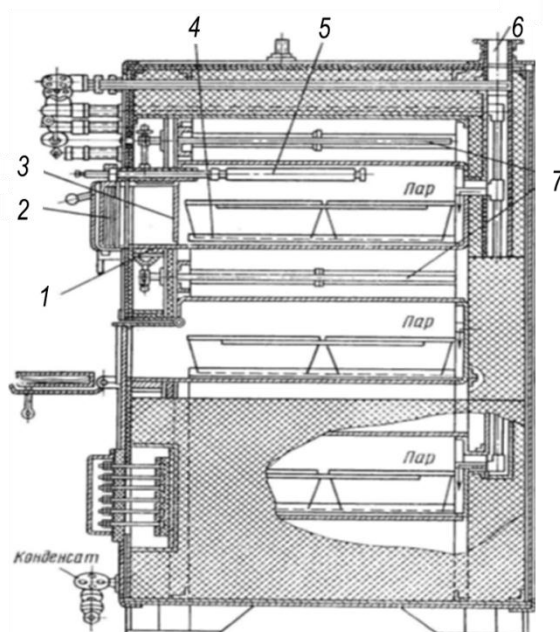


Рисунок 1.1 – Малогабаритная хлебопекарная печь с электрическим обогревом: 1 – пекарная камера; 2 – опрокидывающаяся дверца; 3 – экран; 4 – направляющие решетки; 5 – манометрический термометр; 6 – пароотводящий канал; 7 – электронагревательные элементы

Для обогрева пекарных камер трубчатые электронагревательные элементы 7 (ТЭНы) расположены в раме в 4 ряда, причем каждая камера обогревается сверху и снизу.

На нагревательном патроне сверху расположен манометрический термометр 5 для контроля температуры в хлебопекарных камерах.

Печь управляется вручную. При работе печи от трехфазного тока тепловой режим устанавливается регулировкой пакетного переключателя, установленного на панели управления, с треугольника на звезду. При работе печи на постоянном токе переключение производится с параллельного на последовательное [66].

Для выпечки используются специальные хлебные скребки из стали. Каждая фигура имеет кривую, которая проходит по всему периметру края проволочной фигуры. Формы сочетаются с короткими сторонами. Для удобства выпечки готового хлеба формы обрабатываются следующим образом:

помещают в духовку и обжигают при температуре 200 °С в течение 30 минут;

остывшие формы равномерно смазывают растительным маслом и обжигают в духовке при температуре 200 °С в течение часа, на внутренней стороне форм образуется блестящая масляная пленка, так как пленка подгорает, этот процесс время от времени повторяется;

перед замесом в тесто подмешивают растительное масло или водно-масляную смесь.

При повороте группового переключателя в положение треугольник духовка включается. Когда указанное давление достигает заданной температуры, контролируемой термометром, двери пекарных камер поочередно открывают и формы с расстойным тестом размещают в печи.

При выпечке пшеничного хлеба внутрь пекарной камеры подается пар для увлажнения окружающей среды. По окончании периода выпечки двери хлебопекарных камер поочередно открывают, готовый хлеб и формы вынимают, а затем помещают в контейнеры. При выпечке следует особенно следить за показаниями термометра давления и вовремя переключать, чтобы температура духовки не превышала 330 °С.

Секционная печь ХПЭ-2. Печь предназначена для выпечки ржаного, ржано-пшеничного, пшеничного хлеба и мелких хлебобулочных изделий и состоит из двух ВПЭ-2 (рисунок 1.2), унифицированных секций и основания.

Конструктивно печь состоит из двух частей: корпуса и пекарной камеры 8 внутри.

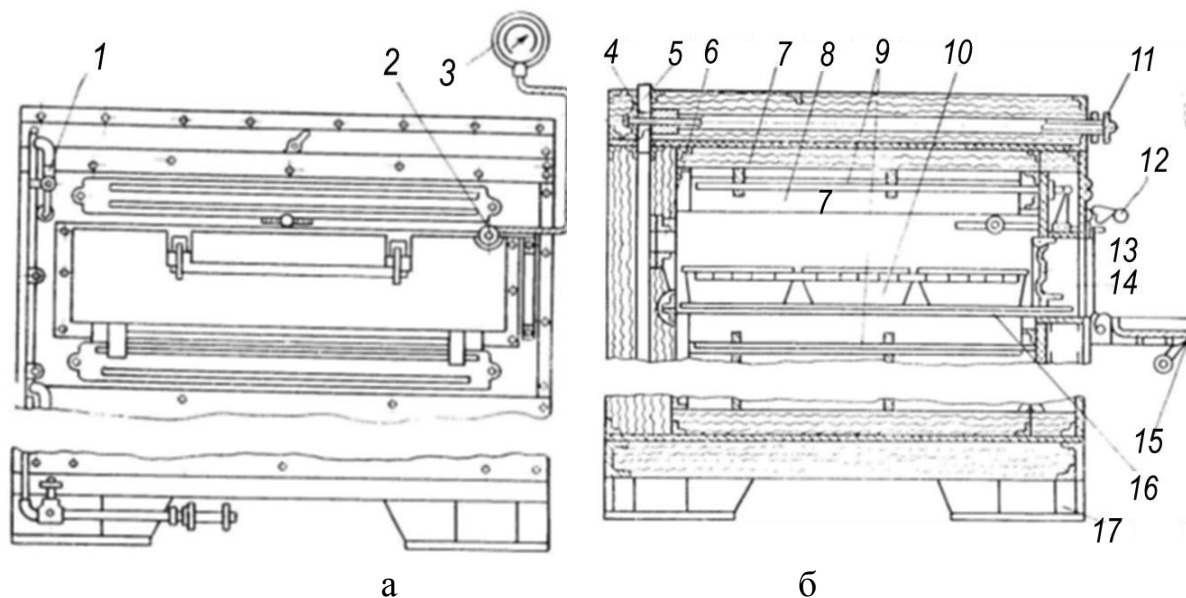


Рисунок 1.2 – Секционная печь с электрическим обогревом ХПЭ-2:

а – вид спереди; б – вид сзади; 1 – пароувлажнительная трубка; 2 – термодатчик манометрического термометра; 3 – манометрический термометр; 4 – заслонка; 5 – пароотводящий канал; 6 – растроб; 7 – изоляция; 8 – пекарная камера; 9 – электронагревательные элементы; 10 – формы хлебопекарные; 11 – рукоятка; 12 – замок экрана; 13 – экран; 14 – устье; 15 – опрокидывающаяся дверца; 16 – направляющая решетка; 17 – основание

Корпус печи включает внешнюю и внутреннюю части, которые разделены изоляционным слоем 7, которым обычно является алюминиевая фольга. Наружная поверхность тела покрыта покровом [66].

Модернизированная малогабаритная хлебопекарня с электрообогревом МХПЭМ представлена на рисунке 1.3. Она состоит из трех хлебопекарных секций, установленных одна над другой на одном основании и работающих независимо друг от друга, пульта управления и щита управления.

Шкаф расстойный 2 представляет собой сварной ящик из нержавеющей стали с двустворчатыми дверцами и замком спереди. Внутри

шкафа расположены две ярусные стойки с направляющими для размещения заготовок.

Печь 1 сварена в виде стального короба повышенной жаростойкости. С одной стороны открывается и представляет собой площадку для загрузки теста, дверь закрывается на замки. Перед дверью внутри пекарной камеры устроен экран, который запирается вместе с дверью.

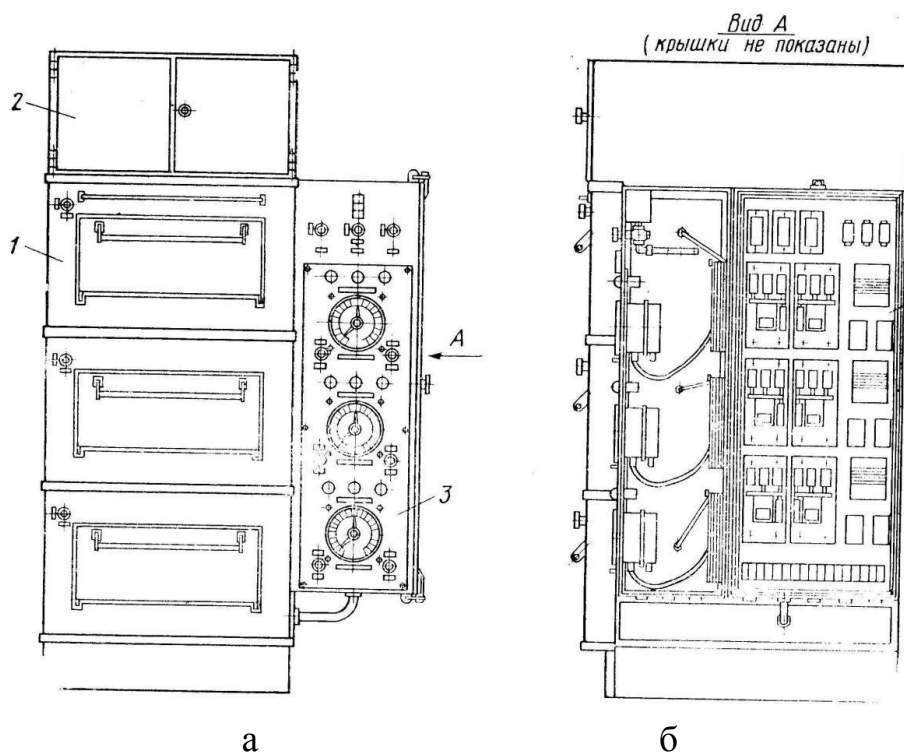


Рисунок 1.3 – Модернизированная малогабаритная хлебопекарная печь с электрическим обогревом МХПЭМ: а – вид спереди; б – вид сзади; 1 – пекарная секция; 2 – расстойный шкаф; 3 – пульт управления; 4 – щит управления

В верхней и нижней частях установлены электронагреватели (нагревательные элементы). Под нижними нагревательными элементами расположен поддон для испарения подаваемой воды при увлажнении камеры при выпечке пшеничного хлеба. Вода подается через сливную трубу, соединенную с резервуаром для воды.

На боковой стене печи проходит труба с задвижкой, подключаемая к общему газоотводу печи. Ручка заслонки расположена на передней стороне духовки.

Температура каждой пекарной камеры регулируется независимо, с помощью манометрических термометров, установленных в пекарных камерах печи и соединенных капиллярами с корпусом оборудования, установленным на лицевой панели управления.

Пульт управления 3 представляет собой сварную конструкцию из профилированной стали. Консоль оборудована запирающейся дверцей. Лицевая часть панели управления выполнена в виде панели, на которой расположены манометры-термометры, устройства сигнализации и коммутационные устройства для контроля работы печи. Внутри консоли расположены три водопроводных счетчика воды с кранами.

Зеркало счетчика воды и ручки смесителя расположены на лицевой стороне панели управления.

Электрооборудование духовки расположено внутри панели управления 4 и снабжено съемной крышкой с замками. Размещено в устойчивом к царапинам дизайне.

В нижней части печи для заземления предусмотрены латунная гайка и латунный болт с шайбой. Место установки болта обозначается «землей». В зависимости от компоновки панели управления духовка доступна в левом и правом исполнении.

Каждая хлебная секция духовки работает независимо друг от друга. Установка оснащена автоматической системой поддержания температуры.

Во время работы пекарной камеры нагревательные элементы в ней накаляются и, следовательно, осуществляется нагрев парогазовой среды в пекарной камере. После нагрева печи до температуры 220-230 °С формы с расстойным тестом ставят в камеру, предварительно открыв дверцу. После размещения расстойных тестозаготовок в печи на испаритель добавляется дозированное количество воды и создается режим водяного пара.

По окончании выпекания дверцу духовки открывают и вынимают испеченный хлеб в формах. Хлеб вынимают из форм и размещают на стойки. Известны и другие конструкции духовок с электрообогревом.

В настоящее время хлебопекарные электрические печи получают все большее распространение, поскольку они обладают более точным и стабильным режимом нагрева, что позволяет достичь более высокой точности в выпечке хлеба. В век стремительного развития цифровых технологий замена устаревших печей на электрические является логичным шагом для современных хлебозаводов. Благодаря объединению традиционных технологий хлебопечения и современной цифровизации именно при использовании электрических печей на производстве возможны не только автоматизация, но и компьютеризация отрасли. Такая модернизация позволит совместить экономические, экологические и технологические преимущества от внедрения.

Сравнительные параметры печей представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Параметры электрических хлебопекарных печей [53,54]

Показатели	Характеристики хлебопекарных печей					
	МХПЭ	ХПЭ-2	ХПЭ-3	ПХПЭ-5	П-503	ЛППП-53
Производительность печи за один подороборот на хлебе, кг						
Ржаном	36	72	108	10,8	8	8
Пшеничном: I сорт/ II сорт	27/27	54/24	81/81	6,0/7,8	4/4	4/4
Количество пекарных секций в печи, шт.	3	2	3	-	1	1
Площадь пода одной камеры, м ²	0,298	0,864	0,864	0,34	0,3	0,29
Количество хлебных форм, шт.	18	36	54	6	8	8
Развес формового хлеба, кг						
Ржаного	1,7	1,7	1,7	1,8	0,5	0,5
Пшеничного: I сорт/ II сорт	1,5/1,5	1,5/1,5	1,5/1,5	1,0/1,3	0,5/0,5	0,5/0,5
Напряжение питающей сети, В	127-380	127-380	127-380	210	220	220
Количество нагревательных элементов в печи, шт.	27	36	54	12	9	4

Потребляемая мощность, кВт	9-13	14-18	21-27	5,4	3,5	4
Размеры, мм						
Длина	1025	1375	1375	956	655	1150
Ширина	765	1213	1213	834	750	820
Высота	1875	1395	1940	1618	1710	1630
Масса, кг	582	820	1150	203	400	250

Данные способы представляют широкий спектр возможностей, включая нагрев парогазовой среды пекарной камеры электронагревателями, электроконтактную выпечку, использование ламп инфракрасного излучения и токов высокой частоты (СВЧ). Каждый из этих способов имеет свои преимущества, и его выбор зависит от требований и особенностей производства хлеба в конкретных условиях.

Рассмотрим особенности обогрева пекарной камеры посредством прохождения электрического тока через нагревательные элементы, размещенные над и под подом. Электрическое сопротивление нагревательных элементов, зависящее от их длины, диаметра и материала, из которого они изготовлены, преобразовывает электрическую энергию в тепловую (по закону Джоуля-Ленца).

Защитная стальная трубка обеспечивает защиту нагревательных элементов от повреждений и не допускает контакта с продуктами пекарной камеры. Теплопроводный наполнитель, зачастую магнезит или керамика, помогает равномерно распределить теплоту по всему пространству хлебопекарной камеры и предотвращает перегрев нагревательных элементов.

Использование нагревательных элементов сопротивления в виде спирали из нихромовой и фехральной проволоки способствует высокой стабильности обогрева и обеспечивает долговечность самого аппарата, создавая оптимальные условия для выпечки хлебобулочных изделий [69].

При обеспечении необходимых условий обогрева в пекарном помещении для электрообогрева сверху и снизу размещают нагревательные

элементы с цилиндрическими спиралями из нихромовой проволоки толщиной 0,5-1,0 мм, заделанными в специальную стальную трубку. Диаметр 15-25 мм заполнен магнитами для изоляции отдельных витков. Выходные клеммы подключаются к сети переменного тока напряжением от 127 до 380 В специальными клеммами. Как известно, по закону Джоуля-Ленца электрический ток, текущий по спирали, преобразуется в тепловую энергию.

Для обогрева пода пекарни необходима удельная мощность 4-8 кВт/м². При этом общая тепловая мощность определяется общей площадью нагревателей, которая определяется площадью печи F в м² и где $P = pF$ кВт. Удобство равномерного распределения и регулировки электрической нагрузки между отдельными фазами обеспечивается количеством нагревателей, обычно более шести. Расстояние между электронагревателями постепенно увеличивают, чтобы обеспечить режим нагрева в камере печи с постепенно снижающейся температурой.

При нарушении регулирования температуры в помещении оно включается автоматически, что достигается включением или выключением датчиков индивидуальных электронагревателей.

Исходя из предоставленных данных исследований, для производства 1 тонны хлеба требуется 250 кВт электроэнергии. При предположении, что тепловая мощность равна 1 кВт на 860 ккал, это означает, что для этого потребуется около 30 кг обычного топлива. Заметим, что это в 0,3-0,5 раза больше количества топлива, необходимого для обычных канальных, паровых, водяных или тостерных печей с огневым нагревом. Сравнивая стоимость потребляемой электроэнергии с эквивалентной стоимостью топлива (30 кг), можно сделать вывод, что использование электроэнергии в данном случае является более экономически выгодным. Это объясняется тем, что стоимость 250 кВт электроэнергии значительно ниже стоимости топлива, и необходимость в транспортировке, хранении топлива и ремонте оборудования минимизируется [69].

В итоге использование электроэнергии в качестве источника теплоснабжения при производстве хлеба является более экономически выгодным решением, особенно при учете дополнительных затрат на использование и обслуживание топливных систем. Ведущие пекари и хлебопекарни предпочитают твердотопливные и газовые печи даже современным электроприборам. Помимо заявленных преимуществ замены одного вида источников тепла другим, преимуществами использования современных тенденций цифровизации производственных процессов (Индустрия 4.0) являются компьютеризация процедур наряду с автоматизацией технологического процесса.

Еще один способ улучшить процесс выпечки, предотвращающий появление канцерогенов, – выпекать хлеб без корочки непосредственно из тестовых заготовок с помощью электрического нагрева.

Особенностью использования такого подхода – электрического способа нагрева тестовых заготовок – является пропускание электрического тока непосредственно через полуфабрикат теста, например при выпечке хлеба с электрическим контактом. Кроме того, такие же эффекты достигаются при использовании ламп инфракрасного ИК-излучения и приготовлении пищи в поле тока высокой частоты (СВЧ) [40, 42, 50, 5660, 87, 139, 143, 145, 146, 155, 156, 158, 163].

При приготовлении пищи с использованием инфракрасных лучей источником передаваемого тепла является электрическая лампа с вольфрамовой спиралью, расположенная перед стеклянной параболической поверхностью, концентрирующей направленные лучи. Лампы этого типа имеют мощность 200-250 Вт и сочетаются со стальной горелкой, интенсивно поглощающей световую ИК-энергию ламп. Основание источников излучения охлаждается воздухом с помощью вентилятора. При нагреве тестовых заготовок в печах с источниками ИК-излучения они выпекаются под воздействием электромагнитных волн с пиковой длиной волны 1,0-30 мкм. Такое излучение может проникнуть глубже в нагретую частицу теста, чем

короче длина волны используемого ИК-излучения. Таким образом, тепло, выделяемое ИК-излучателями, воздействует не только на поверхность, но и на верхние слои частиц теста на глубину до нескольких миллиметров. Полученный эффект приводит к очень быстрому нагреву пустот продукта и значительному сокращению времени приготовления при использовании ИК-источников тепловой энергии. Как правило, такой вид выпечки применяется на предприятиях, выпускающих мелко- и тонкослойные изделия [75].

При обычном приготовлении пищи, когда инфракрасное излучение генерируется излучателями, такими как тостер, газовая плита или керамическая плита с подогревом, инфракрасные лучи проникают в обрабатываемое изделие в течение более длительного периода времени. При использовании конфорок время нагрева значительно сокращается, а быстро образующаяся корочка облегчает проникновение пара, что ускоряет процесс выпечки.

Данный опыт показывает, что при использовании ИК-излучения в стальной печи площадью 1 м² с мощностью лампы от 12 до 13 кВт пшеничный и ржаной хлеб выпекаются быстрее, чем обычный хлеб, приготовленный, например, в глиняных печах. Этот инфракрасный способ выпечки позволяет использовать электроэнергию мощностью в среднем 300 кВт для выпечки 1 тонны хлеба. Температура обработки готового продукта при этом остается ниже 110 °С. Более того, данным способом можно дополнительно выпекать хлеб, который был приготовлен заранее другими способами.

В настоящее время наблюдается возрождение интереса к выпечке в отрасли, производящей ток высокой частоты (ТВЧ). Работу по использованию такой технологии впервые провел А.А. Павперов и коллеги в 1933 году. Позднее аналогичное исследование было проведено и для новых видов выпечки.

Испытания показали, что высокочастотная выпечка позволяет быстрее получить хлеб без корочки. При этом заготовка, помещенная в поле высокой

частоты (10-30 МГц), сильно нагревается, причем тепло выделяется одновременно по всему объему заготовки. Испытания показывают, что скорость нагрева теста на 25-40 % превышает чем в классических печах. Кроме того, за счет отсутствия корочки достигается эффект увеличения объема хлеба на 10-15 % по сравнению с обычной выпечкой [97].

Сегодня промышленное высокочастотное пекарное оборудование имеет сверху медные сетки, которые служат заземляющими электродами и электродами источника питания. К источнику ТВЧ подключаются конвейерные пластины и медные трубки. Импульсы проникают в нагретое тесто с частотой около 15×10^6 колебаний в секунду. Этот процесс нагревания заставляет молекулы сильно вибрировать, генерируя тепло, которое равномерно нагревает всю тестовую массу. Если время выпечки сократить в 2-3 раза по сравнению с обычным, витамины, сахар и другие полезные вещества почти не теряются. Полученный хлеб отличается увеличенным объемом, насыщенным цветом и вкусом. При таком способе выпечки корочка не образуется. Для производства 1 тонны хлеба используется около 400 кВт электроэнергии [69].

Одним из видов выпечки с использованием электротока в качестве источника питания является контактная выпечка. Ф.Г. Шумаев (1936) и Я.Г. Островский (1955) провели хлебопекарные опыты и показали, что тесто выпекалось равномерно по всей массе после расстойки в двух противоположных лоскутах с металлическими стенками, изолированных друг от друга, при пропускании переменного тока нормальной частоты [73].

Позже они обнаружили, что электрическая контактная (ЭК) выпечка позволяет производить хлеб без корочки с минимальными затратами энергии. При текущих параметрах время выпечки составляет около 2 минут и зависит от особенностей процесса: указанных размеров тестовых частиц, рецептуры и технологического способа приготовления теста. Удельные затраты энергии на приготовление продукции обычно составляют от 0,077 до 0,115 кВт/кг.

Показатели производства хлебобулочных изделий при ЭК-выпечке

являются многообещающими для определенного сегмента хлебопекарной отрасли. В большинстве случаев речь идет о бескорковом хлебе, полуфабрикатах для производства хлебных ломтиков и тостового хлеба.

Процесс и оборудование нагрева исследовались многими авторами. Более глубоко изучены эти вопросы в работах М.С. Краснова, Я.Г. Островского, Р.Д. Поландова, Г.А. Сидоренко, Г.Б. Зинюхина, В.Г. Короткова, А.Г. Зинюхиной, Д.И. Ялалетдиновой [52,74,84,97,134]. Достаточно важные результаты получены в этой области и такими авторами, как Baker J.C., Mize M.C., Baskar G., Breitbach M., Butt M.S., Davies R. Junge R.C., Hosney R.C., Moore W.R., Le-Bail A. Luyts A., Wilderjans E., Van Haesendonck I., Courtin C.M., Gally T., Rouaud O., Jury V. [136-141,143,144,148].

В выпечке хлеба, особенно при использовании метода инфракрасного нагрева, возникает реакция Майяра, которая связана с образованием меланоидов при высоких температурах корочки. Меланоиды придают хлебу привлекательный внешний вид, но иногда могут негативно влиять на пищевую ценность готового продукта.

Некоторые исследователи предполагают, что реакция Майяра может приводить к изменению состава и содержания свободных аминокислот в хлебном изделии. Например, Пономарева А.Н. провела исследование, в результате которого было показано, что количество свободных аминокислот в некоторых случаях даже несколько увеличивалось по сравнению с их исходным содержанием в полуфабрикатах. Установлено, что количество свободных аминокислот, определяемых в хлебной корке, снижено (примерно в 2 раза). Было высказано предположение, что этот эффект связан с их расходом на образование меланоидов.

В одной из своих работ Ауэрман Л.Я. дает сведения исследований Ф. Баума о частичной потере лизина из белков при выпечке. Эта незаменимая и дефицитная аминокислота в хлебных белках в готовом к употреблению хлебе теряет 28-33% своего содержания при выпечке. В корке это падение

более заметно и равно 72-75% ее стоимости в полуфабрикate до выпечки. Это закономерно снижает биологическую ценность белка готового хлеба при выпечке. Работы В.Л. Кретовича, А.П. Нечаева и И.М. Скурихина посвящены именно этой теме [18].

Шевелевой Г.И. отмечено частичное снижение биологической ценности хлеба при выпечке с электронагревом. По ее словам, это связано с тепловым разрушением витаминов. В ходе исследований образцы хлеба выпекались при ЭК-, РК-, ИК- и СВЧ-нагревах. Также рассматривались варианты комбинирования (в основном при ИК- и СВЧ-нагревах). Результаты испытаний показали, что витамины более полно сохраняются при приготовлении в микроволновой печи [17, 58].

Скурихин И.М., анализируя результаты своих исследований, обнаружил, что традиционный способ приготовления связывает до 25% белков, витаминов и аминокислот, одновременно снижая активность ферментов и других соединений, отвечающих за биологическую активность. Отмечено, что высокая температура хлебной корочки усиливает процессы накопления в этой части хлеба полициклических ароматических углеводов и продуктов полимеризации жиров. Это также влияет на появление нежелательных полициклических углеводородов, таких как бензопирен. Известно, что он является мощным канцерогеном и веществом, способствующим росту рака. В некоторых случаях в хлебной корке может накапливаться около 0,5 мкг/кг [26, 100].

Анализ технологических приемов выпечки хлеба ЭК показывает, что выпечка ржаного теста при напряжении 127 В занимает 5-6 минут, а пшеничного теста с низкой электропроводностью – 8-9 минут. Если напряжение повышается, хлеб выпекается быстрее. В этих случаях температура, зафиксированная в центре ржаного хлеба, может повышаться до 90 °С, а у пшеничных тестовых заготовок – до 93°С. Электрическая энергия для выпечки хлеба ЭК составляет 60-80 кВтч на 1 тонну готового хлеба. Количество получаемого хлеба на 15-20% больше обычного, а

влажность теста снижается на 1,5-2 % по сравнению с влажностью теста при выпечке классическим способом. По-видимому, это результат ЭК-метода выпечки, поскольку влага не попадает в рабочую зону и температура в центре теста ниже, чем у внешних слоев. Этот эффект приводит к быстрому испарению влаги и время выпекания хлеба примерно в 4-5 раз меньше, чем обычно. В то же время хлеб, выпеченный в ЭК-печи, не имеет твердой корочки и не знаком потребителю. К тому же он достаточно быстро черствеет, что создает дополнительные проблемы при транспортировке и хранении [16, 18, 25, 67,69].

Таким образом, электроконтактная выпечка признана наиболее эффективным способом производства продукта без корочки. В то же время отсутствие корки в изготовленном изделии снизит возможность появления вредных веществ при сохранении пищевой ценности хлеба. Сохранение витаминов в тесте – один из возможных способов приготовления сладкого хлеба ЭК-выпечки с замедленным расщеплением углеводов. Анализ показывает, что ЭК-нагрев представляет практический интерес как самый лучший способ приготовления пищи среди способов электрического нагрева.

Будущее ЭК-нагрева определяет актуальность поиска наиболее рациональных путей его реализации и углубленное изучение соответствующих технических устройств [81, 98, 99].

1.3 Состояние разработок оборудования для повышения его универсальности по приготовлению функционального питания. Постановка цели и задач исследований

Развитие энергосберегающих технологий, процессов и оборудования в пищевой промышленности в настоящее время направлено на обеспечение баланса эффективности производства и качества конечного продукта. Эти требования будут способствовать дальнейшему устойчивому развитию пищевой промышленности и снижению ее негативного воздействия на окружающую среду [91].

Термическая обработка растительного сырья является наиболее

распространенной формой получения готового к употреблению, предварительно обработанного или готового продукта путем теплопередачи, конвекции и излучения.

Многие разработанные нагревательные устройства, используемые сегодня в выпечке, имеют свои сильные и слабые стороны.

Так, в качестве альтернативного способа получения хлеба без корочки используется технология выпечки хлеба в специальных помещениях в атмосфере водяного пара.

После расстойки тележку с тестовыми заготовками загружают в пекарные камеры, дверцы камеры закрывают и подают насыщенный пар под низким избыточным давлением. Температура паровоздушной среды пекарной камеры составляет около 100 °С. За счет этого достигается эффект медленного нагрева структуры полуфабриката (в зависимости от характеристик теста время выпечки может быть увеличено и составлять 11-19 часов) [35].

Классификация теплоносителей представлена в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Классификация теплоносителей

Теплоноситель	Рекомендуемые режимы		Аппараты
	температура	давление	
Вода	до 90	Атмосферное	Мармиты, термостаты
Водяной пар	до 200	Выше атмосферного	Автоклавы, котлы, пароварочные шкафы
Органические жидкости: глицерин	до 180	Атмосферное	Сковороды, шкафы, мармиты, котлы, автоклавы
этиленгликоль	до 200		
Диарилметаны: дикумилметан ДКМ	до 300	Атмосферное	Линии варочных и жарочных аппаратов
Дитолилметан ДТМ	до 300	Атмосферное	
Кремнийорганические жидкости: ПФМС-4, ПФМС-5, ФМ-6			Сковороды, шкафы, мармиты, котлы, автоклавы
Топочные газы	до 1000	Атмосферное	
Влажный воздух	до 300	Атмосферное	Пекарные шкафы

Технологическое оборудование для пищевой промышленности представлено различными видами отечественного и зарубежного производства. Это зависит от местоположения, типа продукции, электропитания оборудования и т. д. Как свидетельствуют различные условия производства, предприятия не только используют серийное оборудование на машиностроительных заводах, но и восстанавливают существующее оборудование совместно с проектными организациями или отдельными специалистами. Направления совершенствования также очень широки: расширение ассортимента, улучшение качества продукции, энергосбережение и т. д. Вновь разрабатываемое и устанавливаемое производственно-технологическое оборудование должно отвечать следующим критериям: повышение качества выпускаемой продукции, простота обслуживания, интеграция, уровень автоматизации и т. д. При этом важную роль играют технико-экономические показатели ее работы: удельные энергозатраты на выпечку хлеба, стоимость печи, металлоемкость и т. д.

Пищевая промышленность сегодня использует большое количество технологического оборудования российского и иностранного производства. Это объясняется разнообразием местных условий, широким ассортиментом выпускаемой продукции, разным энергообеспечением оборудования (электричество, разные виды топлива) и рядом других факторов. Помимо оборудования, выпускаемого серийно на специализированных машиностроительных заводах, в промышленности широко распространено оборудование, разработанное конкретными проектными организациями или отдельными специалистами. Модернизация оборудования может служить различным целям. Для повышения производительности изменяют вид выпускаемой продукции, улучшают качество и т. д. Можно сосредоточить внимание, наряду с критериями оценки качества оборудования, на качестве выпускаемой продукции, простоте обслуживания техники, уровне автоматизации и некоторых других, важную роль также играет техническое

оснащение. Экономические показатели эффективности: удельные энергозатраты на выпечку, стоимость печи, металлоемкость и т. д. Все это необходимо учитывать при проектировании новых видов и реконструкции существующих единиц техники, используемой для выпечки хлеба. Сегодня хлебопекарное оборудование представлено многими типами печей [57].

Тепловое излучение является одной из форм передачи энергии. Отличительная особенность теплового излучения уникальна для каждого организма.

Любое тело может излучать тепло в окружающую среду, даже если оно имеет ту же температуру, что и окружающая среда. Поэтому тепловое излучение обязательно сопровождается поглощением воздействия извне в организм.

В условиях теплового равновесия оба эффекта компенсируют друг друга. Если тела, излучающие тепловую энергию из одного в другое, имеют разную температуру, то энергия передается от тел с большей температурой к телам с более низкой температурой, т. е. тепло производится излучением. ИК-излучение в тепловом оборудовании в настоящее время используется как самостоятельный метод нагрева изделий, а также как основной метод создания различных комбинированных способов термической обработки.

Физический смысл механизма ИК-нагрева заключается в следующем. Большинство пищевых продуктов содержат в своей пористой структуре значительное количество свободной воды, интенсивно поглощающей ИК-излучение в определенном диапазоне длин волн (длины волн 0,75 – 2,5 мкм). Поглощение достигает 100 % при длине волны 1,4 мкм. При этом влага в пористой структуре пищевых продуктов распределяется между объемами неравномерно, поэтому ИК-излучение может проникать на значительную глубину, что при правильном выборе определяет толщину слоя обрабатываемого продукта, который имеет объемный характер нагрева. При ИК-нагреве максимальная температура продукта обычно достигается на определенной глубине в зависимости от структуры и влажности продукта, а также длины волны излучения. При термообработке изменяются свойства

поверхностных слоев изделия, что приводит к усилению поглощения ИК-энергии и увеличению нагрева в отличие от обычных (поверхностных) условий нагрева. Подобный эффект вызывает образование в обрабатываемом продукте водяного пара, который интенсивно поглощает ИК-излучение с длинами волн более 15 микрон [43, 44].

Таким образом, благоприятным фактором для ИК-обработки пищевых продуктов является наличие длин волн в спектре используемого генератора излучения и свободной влаги в продукте, т.е. высокая влажность исходного продукта [56].

При ИК-нагреве поток энергии излучения на изделия подразделяется на три части – отраженный (\mathcal{E}_0), поглощенный (\mathcal{E}_n) и прошедший ($\mathcal{E}_{\text{пр}}$) (рисунок 1.4):

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_{\text{пр}}. \quad (1.1)$$

Соотношение между этими компонентами потока может быть самым различным и зависит от структуры, влажности, температуры, толщины слоя продукта и длины волны ИК-луча (табл. 1.4).

Проникающее в продукт излучение ослабляется в его толще согласно закону Бугера, который можно представить в виде:

$$\mathcal{E}_{\text{пр}}(x) = \mathcal{E}_{\text{пр}}(0) \exp(-\alpha \cdot x), \quad (1.2)$$

где x – координата, отсчитываемая вглубь продукта (на его поверхности $x = 0$);

α – коэффициент поглощения ИК-излучения, зависящий от свойств обрабатываемого продукта и длины волны λ или частоты ν излучения, связанных соотношением:

$$\lambda = s / \nu, \quad (1.3)$$

где $s = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

Согласно закону Бугера с увеличением толщины слоя продукта его пропускная способность ($\mathcal{E}_{\text{пр}}/\mathcal{E}$) для ИК-лучей становится меньше.

Проницаемость продуктов быстро снижается с увеличением длины волны ИК-излучения. Эта закономерность просматривается по данным

табл. 1.4, в которой под λ_{\max} подразумевается длина волны, соответствующая максимуму в спектре ИК-излучения. Согласно известному закону смещения Вина величина λ_{\max} связана с температурой излучателя соотношением (λ – в мкм, T – в К):

$$\lambda_{\max} = 2898/T. \quad (1.4)$$

Таблица 1.4 – Проницаемость пищевых продуктов для ИК-излучения [97]

Продукты и изделия	Влажность, %	Толщина слоя, мм	λ_{\max} , мкм				
			1,04	2,3-2,5	2,7-2,9	3,8	4,5
Мясо свиное	70-72	0,5	42,0	18,1	14,4	7,6	5,1
		2,0	10,6	2,6	2,0	1,5	0,39
		4,0	5,2	1,1	0,75	0,36	0,11
Мясо говяжье	71-73	0,5	34,0	15,2	12,4	10,1	4,5
		2,0	8,8	2,2	1,5	1,1	0,23
		4,0	4,4	0,8	0,55	0,37	0,07
Белое мясо кур	69	0,5	54,6	47,2	13,4	11,6	9,0
		2,0	21,3	3,1	2,8	2,0	1,8
		4,0	10,0	0,5	0,5	0,2	-
Красное мясо кур	68-69	0,5	49,0	15,0	10,3	8,2	6,7
		2,0	18,0	2,6	1,9	1,3	10,0
		4,0	7,8	0,8	0,3	0,1	0
Бифштекс натуральный	68,8	0,5	38,9	20,6	11,3	8,5	6,6
		2,0	1,6	5,8	1,41	0,81	0,35
Бифштекс рубленый	68	0,5	31,4	21,5	13,2	8,7	6,6
		2,0	7,55	4,4	1,33	0,8	0,12
Котлета рубленая	73,2	0,5	26,7	16,6	10,5	8,7	7,1
		2,0	6,72	3,7	0,95	0,6	0,32
Треска (мышечная ткань)	80,8	0,5	55,8	17,8	15,2	12,8	13,9
		2,0	32,5	4,5	3,6	2,0	2,4
Морской окунь (мышечная ткань)	74,9	0,5	53,4	14,7	13,1	12,5	11,7
		2,0	29,0	3,5	2,9	1,4	0,6
Палтус (мышечная ткань)	84	0,5	58,4	18,7	16,9	15,1	14,7
		2,0	30,1	3,3	5,7	2,8	2,6
Молоко (жирность 3,2 %)		0,1	60,1	25,5	-	-	-
		0,5	30,0	10,3	-	-	-
		0,9	21,5	5,9	-	-	-

Отсюда видно, что для создания благоприятной для ИК-обработки величины $\lambda_{\max} = 1-1,5$ мкм температура поверхности ИК-излучателя должна составлять 2000-3000 К. В частности, кварцевая лампа НИК-1000 имеет температуру около 2060 К и, соответственно, $\lambda_{\max} = 1,4$ мкм. Существуют и другие источники ИК-энергии, пригодные для реализации ИК-нагрева в оборудовании, предназначенном для приготовления продуктов функционального питания.

При расчетах энергетического баланса ИК-нагрева используют обобщенный закон Стефана-Больцмана.

Он определяет тепловую мощность, передаваемую излучением от тела с температурой T_1 (излучателя) к телу с температурой T_2 (продукту):

$$\dot{Q} = \sigma_0 \varepsilon_{\text{пр}} [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \cdot H, \quad (1.5)$$

где $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – постоянная Стефана – Больцмана;
 $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты (для пищевых продуктов $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,5 - 0,9$);

H – взаимная излучающая поверхность рассматриваемых двух тел:

$$H = \varphi_{1-2}; F_1 = \varphi_{2-1} \cdot F_2, \quad (1.6)$$

где F_1, F_2 – площади поверхностей первого и второго тел соответственно;

$\varphi_{1-2}, \varphi_{2-1}$ – коэффициенты облученности одного тела другим.

Положительным свойством ИК-нагрева является получение однородного по цвету и толщине коричневого покрытия готового изделия. Однако этот метод имеет некоторые недостатки:

не все продукты могут подвергаться ИК-нагреву;

при высоких плотностях потока ИК-излучения изделие может «сгореть».

В качестве электрических генераторов коротковолнового инфракрасного излучения применяют два типа устройств: инфракрасные стеклянные лампы накаливания и трубчатые инфракрасные галогенные кварцевые излучатели. В последние годы трубки из кварцевого стекла стали более популярными, чем стеклянные инфракрасные лампы для обогрева печей,

известные как инфракрасные излучатели. Кварцевые нагреватели более совершенны, чем стеклянные лампы, и имеют перед ними ряд важных преимуществ [74]. Так, использованное в них кварцевое стекло устойчиво к высоким температурам – температура размягчения превышает 170°C, а также оно имеет хороший коэффициент пропускания в широком диапазоне длин волн - от ультрафиолетовых до инфракрасных лучей с длиной волны 4 микрона.

Постановка цели и задач исследования

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.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследования:

1. Проанализировать факторы повышения эффективности функционального питания в условиях компактного проживания ограниченных контингентов.
2. Оценить возможности существующих рецептур и технологического оборудования для организации функционального питания в условиях компактного проживания ограниченных контингентов.
3. Исследовать возможности совершенствования основных конструктивных элементов конвейерной хлебопекарной печи и вспомогательных устройств для производства хлеба.
4. Разработать предложения по конструктивному устройству конвейерной хлебопекарной печи и вспомогательных устройств для производства хлеба с использованием воздействий физических полей.

5. Провести экспериментальные исследования технологического оборудования для приготовления функционального питания в условиях компактного проживания ограниченных контингентов.

6. Оценить экономическую эффективность применения новых процессов и аппаратов для приготовления продуктов питания функционального назначения.

7. Разработать практические рекомендации по реализации результатов исследования.

Выводы по главе

1. Установлено, что организация функционального питания потребителей в условиях обособленного проживания является необходимым мероприятием. Процесс производства продуктов питания функционального назначения должен обеспечивать интенсификацию производства выпуска готовой продукции, с сохранением пищевой ценности исходных компонентов, и возможность корректировки ее в конечном продукте. Значительную роль в рационе питания потребителей по объёму продукта и содержанию нутриентов занимает хлеб. Процессы его производства позволяют корректировать пищевую ценность.

2. Проведена оценка возможностей корректировки рецептур, процессов и технологического оборудования приготовления продуктов функционального питания травмированных и заболевших людей в условиях обособленного проживания, а также проанализированы методы разработки и совершенствования этих средств в целях повышения их универсальности и повышения эксплуатационных свойств.

3. Анализ технических и технологических решений показал, что в целях интенсификации производства свежее испеченного хлеба и выдачи его на функциональное питание необходима разработка процессов и аппаратов производства хлеба на основе использования ультразвуковых капиллярных эффектов, кавитации, инфракрасного излучения и электроконтактной выпечки.

4. Выявлены направления совершенствования процессов и аппаратов производства продуктов питания функционального назначения, учитывающие условия их эксплуатации в сложных природно-климатических условиях, обеспечивающие производство доброкачественной продукции. Повышение автоматизации процесса производства и расширение функциональных возможностей аппаратов для производства хлеба в условиях обособленного проживания являются приоритетными задачами настоящего исследования.

ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЦЕПТУР И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ОБОСОБЛЕННОГО ПРОЖИВАНИЯ

2.1 Возможности 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 [106].

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

Степень этерификации (Е) в процентах вычисляли по формуле 2.1.

$$E = \frac{\psi_2}{\psi_1 + \psi_2} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где ψ_1 – объем раствора гидроксида натрия 0,1 моль/дм³, используемого на первое титрование, см³; ψ_2 – объем раствора гидроксида натрия 0,1 моль/дм³, используемого на второе титрование, см³.

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

Определение степени этерификации пектиновых веществ осуществляли методом титрования для определения свободных и омыленных карбоксильных групп полигалактуроновой кислоты в образцах пектиновых препаратов, очищенных от растворимых балластных примесей и катионных соединений [106].

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.

Вязкость растворов пектина рассчитывали по формулам 2.2, 2.3 и 2.4.

Относительная вязкость

$$\eta_{\text{отн}} = \frac{\tau_{\text{вз}}}{\tau_1}, \quad (2.2)$$

где $\tau_{\text{вз}}$ – время истечения через вискозиметр исследуемого раствора, τ_1 – время истечения растворителя.

Удельная вязкость

$$\eta_{\text{уд}} = \eta_{\text{от}} - 1. \quad (2.3)$$

Приведенная вязкость

$$\eta_{\text{пр}} = \frac{\eta_{\text{уд}}}{C_{\text{пек}}}, \quad (2.4)$$

где $C_{\text{пек}}$ – концентрация пектина в 100 мл раствора, г.

Величину средневязкостной молекулярной массы рассчитывали путем логарифмирования уравнения 2.5:

$$[\eta] = k \cdot M^\gamma, \quad (2.5)$$

где k и γ – постоянные: $k = 1,1 \cdot 10^{-5}$, $\gamma = 1,22$.

Поскольку значения постоянных k и α зависят от структуры пектиновой молекулы и прежде всего от количества L -рамнозильных остатков, вычисляли:

$$\lg M = \frac{\lg[\eta] - \lg 1,1 \cdot 10^{-5}}{1,22}. \quad (2.6)$$

Массовую долю влаги определяли путем высушивания образца.

При проведении эксперимента использовалась кислотно-спиртовая технология получения пектина из растительного сырья.

Перед извлечением пектина клубни топинамбура (влажность топинамбура 88 %) в количестве 100 г измельчались на шнековом оборудовании, размер частиц 1-2 мм, затем промывались холодной водой, поскольку пектин не растворяется в холодной воде (температура H_2O не выше 10-15 °C).

Гидролиз-экстрагирование пектина проводилось из измельчённого топинамбура в количестве 100 г раствором кислоты ($pH=2,0-2,3$) при гидромодуле процесса 1:44. Экстрагирование длилось 40 минут при температуре 100 °C. По истечении времени гидролиза-экстрагирования пектиновый экстракт проходил фильтрацию через фильтровальную ткань, затем концентрировался в вакуумном испарителе при непрерывном перемешивании, $t = 100^{\circ}C$, $P = 10$ мбар. Пектин осаждался из раствора 96%-м этиловым спиртом в течение одного часа. Соотношение объемного количества концентрата и спирта составляет 1:3. Осажденный пектин отделялся от раствора путем фильтрования. Пектин, оседающий на фильтровальной ткани, промывался 80%-м этиловым спиртом. Сушка пектина проходила при температуре 50-60 °C на сушильном оборудовании, на силиконовой подложке, после чего он измельчался [106].

Результаты, полученные при анализе проведенных исследований при использовании в качестве экстрагента минеральных кислот, представлены в таблице 2.1, а аналогичные сведения, полученные для органических кислот, сведены в таблицу 2.2.

Анализируя полученные для минеральных кислот результаты, можно отметить, что наименьшая степень этерификации выявлена у азотной кислоты (31 %), а наибольшая у соляной (56 %). При этом максимальная молекулярная масса (13469) для такого способа экстрагирования отмечена при использовании в качестве экстрагента соляной кислоты, а минимальная (6572) при использовании фосфорной кислоты. Влажность продукта оставалась достаточно высокой (18-24 %) для всех экспериментов.

Авторами работы [142] получены аналогичные результаты, свидетельствующие о высокой детоксицирующей активности пектина топинамбура. По их данным пектин обладал низкой молярной массой (5248 г/моль), высокой уронидной составляющей (85,3 %), низкой степенью этерификации (7,2 %) и высокой сорбционной способностью (57,45 %). Некоторое различие результатов объясняется тем, что авторами для эксперимента брался порошок топинамбура.

Таблица 2.1 – Результаты экспериментальных исследований использования минеральных кислот в качестве экстрагента

Параметры	Образец 1			Образец 2			Образец 3		
	HCl	HNO ₃	H ₃ PO ₄	HCl	HNO ₃	H ₃ PO ₄	HCl	HNO ₃	H ₃ PO ₄
Масса топинамбура, г	50	100	100	50	100	100	50	100	100
Дистил. вода, мл	264	528	528	264	528	528	264	528	528
V _{HCl} (1 М), мл	25	30	50	25	30	50	25	30	50
<i>pH</i>	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Гидролиз									
Время, мин	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Температура, °С	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Фильтрация									
V _(после фильтр) , мл	306	610	614	308	600	640	302	614	632
Концентрация									
Температура, °С	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Время, мин	66	72	85	59	72	90	52	72	66
V _{воды} , мл	224	558	536	258	538	538	258	570	586
V _{конц.} , мл	82	52	78	50	62	102	44	44	46
V _{спирта (1:3)} , мл	216	156	234	150	186	306	132	132	138
Масса пектина, г	0,27	0,43	1,01	0,41	0,3	1,11	0,45	0,41	1,27

Анализируя полученные для органических кислот результаты, можно отметить, что наименьшая степень этерификации выявлена для лимонной кислоты C₆H₈O₇ 10,4 %, причем в этом же случае отмечена и минимальная молекулярная масса – 2582. Использование щавелевой кислоты C₂H₂O₄ выявило у образцов степень этерификации – 46 %, а молекулярную массу – 9462. Влажность пектина составляла в каждом из испытаний – 16 %.

Некоторые различия с данными работ [150] можно объяснить различной влажностью испытываемых образцов.

Таблица 2.2 – Результаты использования органических кислот в качестве экстрагента

Параметры	Образец 1		Образец 2		Образец 3	
	C ₂ H ₂ O ₄	C ₆ H ₈ O ₇	C ₂ H ₂ O ₄	C ₆ H ₈ O ₇	C ₂ H ₂ O ₄	C ₆ H ₈ O ₇
Масса топинамбура, г	100	100	100	100	100	100
Дистиллированная вода, мл	528	528	528	528	528	528
V _{НСl} (1 М), мл	3	35	3	35	3	35
pH	2,3	2,2	2,3	2,2	2,3	2,2
Гидролиз						
Время, мин	40	40	40	40	40	40
Температура, °С	100	100	100	100	100	100
Фильтрация						
V _(после фильтр) , мл	582	578	564	596	596	614
Концентрация						
Температура, °С	100	100	100	100	100	100
Время, мин	73	75	67	65	73	66
V _{воды} , мл	522	506	522	540	540	544
V _{конц.} , мл	60	72	42	56	56	70
V _{спирта} (1:3), мл	180	360	126	168	168	210
Масса пектина, г	1,1	0,59	0,88	1,05	0,85	0,8

В таблице 2.3 представлены результаты по выходу пектина.

Таблица 2.3 – Выход пектина [106]

Образцы	Кислота				
	Соляная	Азотная	Фосфорная	Щавелевая	Лимонная
Масса пектина (сухого вещества) на 100 г топинамбура					
1	6,4	5,4	6,4	6,4	5,2
2	6,6	5,7	6,6	6,5	5,5
3	6,5	5,1	6,2	6,6	5,6
Выход, %	6,5	5,5	6,4	6,5	5,4

Анализ представленных в таблицах 2.1, 2.2 и 2.3 результатов позволяет сделать вывод о том, что природа экстрагента существенно влияет на процесс и конечный выход продукта.

Из полученных экспериментальных данных видно, что максимальный выход пектина топинамбура достигается при наличии в процессе экстракции щавелевой и соляной кислот (6,5 %). Использование соляной кислоты имеет ряд недостатков по сравнению с щавелевой кислотой в реальных промышленных условиях, в частности коррозию металлического оборудования. Кроме того, она выделяет вредные газы, которые выбрасываются в окружающую среду и требуют сложной очистки пектина для удаления токсичных продуктов [106].

Эти данные позволяют предположить замену неорганических кислот (в том числе соляной кислоты) при экстрагировании пектина из топинамбура щавелевой кислотой.

В некоторых случаях использования пектина, например, при производстве кондитерских изделий, важную роль играет цвет пектиновых экстрактов.

Для проведения эксперимента были подготовлены четыре одинаковых образца для определения способов окраски готового продукта. К 38 г измельченного корня топинамбура добавляли 200 мл дистиллированной воды и 1,5 г щавелевой кислоты и выдерживали при 105 °С в течение 60 минут. В результате экстракт приобретал определенный цвет.

Первый образец был контрольным (неотбеленным с помощью щавелевой кислоты) и взят для сравнения окраски с другими.

Второй образец несколько раз фильтровали через угольную колонку после гидролиза и фильтрации.

В третьем образце экстракцию проводили с добавкой 10 г активированного угля. Перед сравнением древесный уголь из образцов отделяли центрифугированием.

Четвертый образец перед гидролизом подвергали термической обработке в горячей воде в течение 5 минут. На рисунке 2.1 представлены образцы после фильтрования.

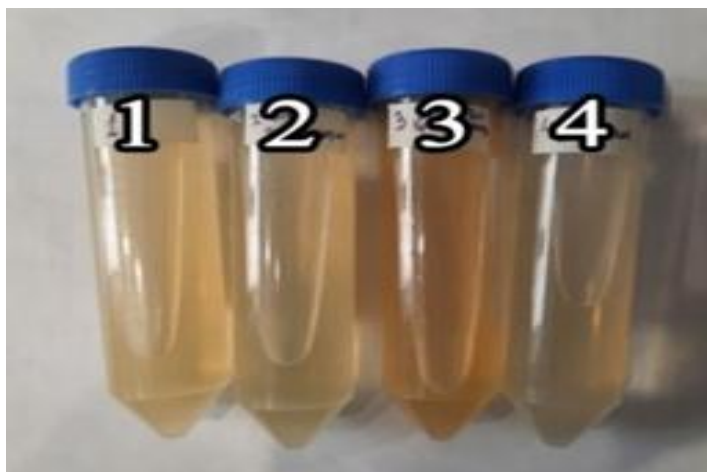


Рисунок 2.1 – Образцы пектиновых экстрактов

После визуального осмотра пектиновые экстракты фильтровали через тканевый фильтр и концентрировали в вакуумном испарителе с уменьшением объема не менее, чем в 3 раза. Для осаждения пектина из раствора в течение одного часа использовался 96 %-й 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. На рисунке 2.2 показаны образцы пектина, полученные после сушки.



Рисунок 2.2 – Пектин, полученный после сушки

Как следует из рисунка 2.2, 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.

Исследования показали возможность замены соляной кислоты на щавелевую, что обеспечивает необходимое качество конечного продукта и более длительный срок эксплуатации технических устройств.

Выбранные режимы предотвращают негативные изменения пектина под действием щавелевой кислоты. Известно, что под действием кислот молекулы растворимых пектиновых веществ могут претерпевать одновременно два важных изменения: омыление этерифицированных карбоксильных групп и разрушение молекулы путем разрыва гликозидной связи между остатками *D*-галактуроновой кислоты. Даже при комнатной температуре в осажденной полигалактуроновой кислоте может происходить омыление пектиновых веществ.

Наряду с метоксигруппами омыляются и ацетильные группы молекулы пектина. С повышением температуры усиливается кислотное омыление, что может привести к распаду макромолекул по их основным значениям. Хотя омыление может происходить при температуре около 50 °С и сопровождаться значительной деградацией макромолекулы, длительный кислотный гидролиз приводит к полной деградации молекулы пектина до галактуроновой кислоты.

Исследования показывают, что мягкая термическая обработка, например, с дополнительным окрашиванием за счет промывки горячей водой, расширяет возможности использования продукта, причем существенное влияние на цвет оказывает термическая обработка топинамбура перед нагреванием экстракта и получением пектина.

Исследования состояния функционального питания показывают, что рынок функционального питания в России улучшается с каждым годом. Однако согласно этим исследованиям более 40 % потребителей такого питания стремятся использовать в своем рационе продукты, превышающие рекомендованные ныне диеты [120]. С 2019 года Роспотребнадзор по поручению Президента Российской Федерации приступил к решению большой и важной социальной проблемы массовой организации здорового питания в России в рамках федерального проекта «Укрепление здоровья населения» и национального проекта «Демография». Данная тенденция открыла новые перспективы на рынке функционального питания в виде новых ассортиментов, рецептур продуктов и использования новых технологий, направленных на профилактику и поддержание здоровья [82].

Уже сейчас предложение продуктов здорового питания очень широко и потребителю предоставляется возможность выбора питания согласно советам и инструкциям диетологов. Всемирной организацией здравоохранения разработаны рекомендации по правильному, здоровому питанию для многих групп населения. Общеизвестно, что для нормального функционирования организма необходим строгий баланс соотношения белков, жиров и углеводов (БЖУ).

Также список полезных для употребления продуктов сужается, причем особое внимание уделяется организации питания граждан, не употребляющих в пищу мясо, они за счет употребления определенного количества растительных продуктов восполняют баланс пищевых жиров [5-7].

Для защиты здоровья большинства людей эксперты ВОЗ рекомендуют ежедневный сбалансированный прием БЖУ. Нормы потребления БЖУ представлены в таблице 2.4. Определим суточный диапазон потребления продуктов питания (из трех блюд, представленных в меню), который следует употреблять для восполнения всех необходимых элементов согласно рекомендуемым значениям ВОЗ с использованием подходов линейного программирования для определения ежедневных продуктов, которые поддерживают нормальное здоровье [120].

Таблица 2.4 – Нормы потребления БЖУ

Группа населения (с высокой физической активностью)	Возрастные группы	Белок, г		Жиры, г	Углеводы, г
		Всего	В т.ч. животного происхождения		
Мужчины	18-29	102	56	136	518
	30-39	99	54	132	504
	40-59	95	52	126	483
Женщины	18-29	87	48	116	441
	30-39	84	46	112	427
	40-59	80	44	106	406

Для этой цели примем за суточную норму потребления, например, следующий диапазон питательных веществ: жиры – 30-60 граммов; белки – 45-55 граммов; углеводы – 257-586 граммов.

Для проведения расчетов предоставлены технологические карты трех блюд, которые были разработаны на факультете биотехнологии ИТМО [120].

Первое блюдо – «Пуховая» гречневая каша, в состав которой входят: каша, грибы белые, лук, яйца, приправы и масло.

Второе блюдо – паштет из куриной печени с клюквенным желе в воловане с кунжутом, в состав входят: печень куриная, лук, морковь, сливки 22 %-е, тесто слоеное, желатин, кунжут, клюква, приправы и масло.

Третье блюдо – пикантные шарики из творожного сыра и черных оливок в профитроле с микрозеленью, состав: сыр творожный, мука, яйца, масло, чеснок, укроп, молоко, оливки черные (рис. 2.3).



а

б

в

Рисунок 2.3 – Блюда из расчетного меню:

а – «Пуховая» гречневая каша; б – паштет из куриной печени; в – пикантные шарики из творожного сыра

В таблице 2.5 представлено содержание БЖУ в этих блюдах.

Таблица 2.5 – Состав питательных веществ в разработанных блюдах

Элементы	Блюда		
	1	2	3
Белки	7,1	10,9	10,8
Жиры	8,3	15,6	8,8
Углеводы	17,1	20,3	5,4
Размер порции, г	250	150	295

Цифровизация принимаемого решения по количеству приготавливаемых блюд была выполнена в виде расчета на ЭВМ по программе [109,110].

Результаты расчета свидетельствуют о том, что для обеспечения рекомендуемого баланса БЖУ понадобится 1 порция первого блюда, около 3 порций третьего блюда и примерно 1 порция второго блюда. Уточнение этих результатов возможно при учете особенностей контингента питающихся в соответствии с полом, возрастом и тяжестью заболевания или травмы.

Целевая функция в этом случае будет выглядеть следующим образом:

$$250x_1 + 150x_2 + 295x_3 \rightarrow \min.$$

Коэффициенты перед x_i – это размер порции, а x_i – количество порций.

Необходимо учесть ограничения по количеству БЖУ в сутки.

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:

$$17,1x_1 + 20,3x_2 + 5,4x_3 \geq 257,$$

$$17,1x_1 + 20,3x_2 + 5,4x_3 \leq 586,$$

$$f(x_1, x_2, x_3) = 250x_1 + 150x_2 + 295x_3,$$

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

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

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

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

$$17,1x_1 + 20,3x_2 + 5,4x_3 \leq 586,$$

$$17,1x_1 + 20,3x_2 + 5,4x_3 \geq 257,$$

$$x_1 = 1 \quad x_2 = 1 \quad x_3 = 1,$$

$$\text{Given } x_1 > 0 \quad x_2 > 0 \quad x_3 > 0,$$

$$\text{Minimize } (x_1, x_2, x_3) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0,9 \\ 2,6 \end{pmatrix}.$$

Предложенная методика может быть использована медицинскими учреждениями, оказывающими услуги лечебного питания при составлении диеты, а также отдельными клиентами, получающими профилактику, но соблюдающими щадящую диету. Она также может быть полезна диетологам и другим специалистам при разработке функционального питания. Следует отметить, что предлагаемый подход к разработке меню учитывает рекомендованные ВОЗ нормы потребления пищевых продуктов и является максимально объективным для любых условий производства и потребления функционального питания [120].

В случаях, когда лечебная диета требует обогащения путем введения минеральных веществ, в качестве добавки предлагается использовать измельченную яичную скорлупу.

В последние годы в нашей стране и за рубежом проводятся работы по изучению потенциальных возможностей этого вторичного пищевого сырья в функциональных продуктах. Перспективным представляется использование вторичного сырья птицеперерабатывающей промышленности, особенно яичной скорлупы, в качестве ингредиентов для выпечки хлебобулочных изделий. Содержащие большое количество различных минеральных веществ и особенно кальция печенье или другие хлебобулочные и кондитерские изделия незаменимы в питании детей, наиболее остро нуждающихся в этом минерале.

Исследования позволили более полно понять сложный механизм приготовления теста с равномерным распределением этой важной пищевой добавки. При этом процессе приготовленное тесто рекомендуется подвергать воздействию ультразвуковых колебаний, что обеспечивает долговременную стабильность и равномерное молекулярное распределение кальция в белково-жировых эмульсиях, используемых при замесе теста [117].

Большое внимание отечественных ученых было уделено изучению состава скорлупы куриного яйца и возможности его использования для повышения пищевой ценности продуктов питания. Скорлупа яйца усваивается организмом и 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 длительного использования, однако специализированные предприятия по производству хлебобулочных изделий до настоящего времени не использовали выявленные ценные свойства этого второго сырья в промышленных масштабах в связи с проблемой его тонкого измельчения. Но данную проблему можно решить, заменив сильное механическое воздействие на оболочку яиц более мягким гидродинамическим воздействием, например при использовании эффектов кавитации в процессе ее измельчения [117].

Стремление сохранить наиболее высокие полезные свойства продуктов стимулирует разработку, обеспечивающую наибольшую равномерность распределения компонентов используемых рецептур, без учета воздействия высоких температур на готовую продукцию, в том числе неоправданного повышения температуры по сравнению с установленными режимами в правилах классической выпечки.

Сохранению однородности смеси при подготовке теста для мучных изделий служит, например, устройство, схема месильного органа которого приведена на рисунке 2.4 [79].

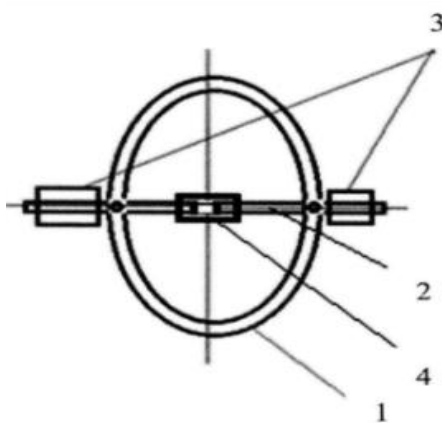


Рисунок 2.4 – Конструкция месильного органа:

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

Задачей исследования являлось исключение неравномерности распределения отдельных ингредиентов при перемешивании и измельчении рецептурных компонентов [79,115,118].

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. Сам вал нужно выполнить в виде двух стержней из ферромагнитного материала, соединенных неметаллической втулкой [79].

На каждом из стержней, между стенкой месильной камеры и месильной рамкой, с обеих сторон следует разместить магнитострикционные элементы для генерирования ультразвукового поля [79].

2.2 Моделирование рамной мешалки для белково-жировых эмульсий и обоснование ее конструкции

Для твердых тел их жесткость определяется граничными условиями. Это инициирование значительного роста трещин, что может привести к полному разрушению объекта [4-5]. Данные о свойствах твердых материалов на растяжение показывают, что целостность прикладного объекта зависит не только от нормальных, но и от сдвиговых напряжений. В случае

кавитационного разрушения яичной скорлупы это приводит к необходимости учета разрыва векторов скорости потока жидкости и действия центробежных сил, разрушающих объект. Это также связано с тем, что обтекание компонентов дисперсной пищевой добавки зачастую осуществляется турбулентным, а не ламинарным потоком. Самый простой способ объяснить эти ситуации – предположить определенный угол α между векторами скорости потока жидкости и центробежными силами, что приводит к некоторой модификации исходных дифференциальных уравнений.

Силы, вызывающие такое движение, обычно выражаются как функции окружной скорости кругового движения частицы жидкости. Эти компоненты скорости определяются из уравнения движения частиц жидкости, описанного ниже [116]:

$$\psi = q_{\text{п}} \left(\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{r^2} \right), \quad (2.7)$$

где ψ – 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

$$U_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{2q}{r^2} y, \quad (2.8)$$

а составляющая вдоль оси Oy определится как

$$U_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{2q}{r^2} x. \quad (2.9)$$

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

$$N_x = k_1 \cdot u_x = k_1 \cdot \frac{2q}{r^2} y = c_1 y; \quad (2.10)$$

$$N_y = k_2 \cdot u_y = k_2 \cdot \frac{2q}{r^2} x = c_2 x, \quad (2.11)$$

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 [117].

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 [45]:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \lambda \left(\frac{dx}{dt} \right)^n - c_1 y = \varphi \left(v_0 - \frac{dx}{dt} \right); \quad (2.12)$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} + \lambda \left(\frac{dy}{dt} \right)^n + c_2 x = 0. \quad (2.13)$$

В соответствии с известными рекомендациями по численному решению неоднородных нелинейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка сведём их к решению системы дифференциальных уравнений первого порядка, выполнив замену переменных [47]:

$$x = y_0; \quad \frac{dx}{dt} = y_1 \quad y = y_2 \quad \frac{dy}{dt} = y_3. \quad (2.14)$$

После такой замены традиционную систему уравнений можно переписать в виде, учитывающим наличие турбулентности обтекающего потока путем умножения на синус угла между горизонтальной осью и направлением действительной скорости S :

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx} y_0 &= y_1; & \frac{d}{dx} y_1 &= -0,2y_1 + 0,2y_2 + 0,1(C \cdot \sin \alpha - y_1), \\ \frac{d}{dx} y_2 &= y_3; & \frac{d}{dx} y_3 &= -0,2y_3 - 0,3y_0. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Значения постоянных коэффициентов при переменных выбраны условно в целях исследования влияния на состояние среды в каверне скорости транзитного потока (для C начальным, при $\alpha = 0$ выбрано значение 10).

Записанную таким образом систему дифференциальных уравнений решали, выбирая граничные условия из соображений постоянства среды в каверне:

$$y_0(0) = 0 \quad y_1(0) = 0 \quad y_2(0) = 0 \quad y_3(0) = 1.$$

Для получения решений записанной системы уравнений традиционный метод Рунге-Кутты дает достаточно существенные погрешности, а для некоторых значений коэффициентов – расходится [112].

В связи с этим для решения системы записанных дифференциальных уравнений использовался метод Булирша-Штера.

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 2.5).

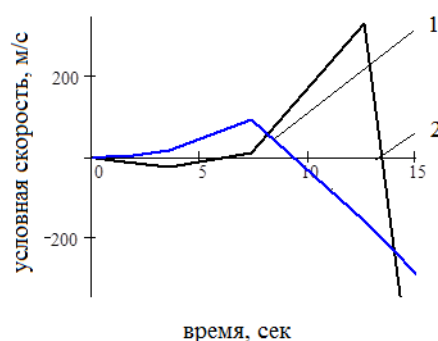


Рисунок 2.5 – Изменение скоростей движения границ полости в процессе кавитации:

1 – по оси OX; 2 – по оси OY (при $S_{\text{тр}} = 100$, $\alpha = 0$)

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

$$\frac{dx}{dt} = 1,77 - 15,01t + 2,16t^2; \quad (2.16)$$

$$\frac{dy}{dx} = 0,27 - 2,85t + 2,06t^2. \quad (2.17)$$

Зная зависимость компонент скорости по координатам от времени, легко вычислить и саму скорость, а по ней посчитать величину действующей на стенки каверны центробежной силы F_{cr} по известной формуле

$$F_{cr} = \frac{mV^2}{r}. \quad (2.18)$$

Дифференцируя полученную зависимость, легко определить время, при котором величина центробежной силы будет достигать экстремальных значений для каждой заданной величины транзитной скорости $S_{тр}$ [113].

Анализ графиков полученных решений приводит к интересным результатам. Наличие резких точек различия величин проекций скорости и их значений не исключает присутствия притяжения на фазовом этапе решения. Поскольку решение системы четырехмерное, графически представить этот факт невозможно. В то же время экспериментальная интерпретация числовых величин, введенных в систему как коэффициенты, может привести к результатам, полученным для конвективно-турбулентных потоков жидкости в нагретом сосуде, о возможности определения точки бифуркации, определяющей наиболее рациональные режимы кавитационной печи.

Для этой цели рассмотрим модель, позволяющую интерпретировать наличие угла α между направлением транзитной скорости $S_{тр}$ и продольной осью каверны при ее образовании за счет импульса ультразвука (УЗ), представленного на рисунке 2.6.

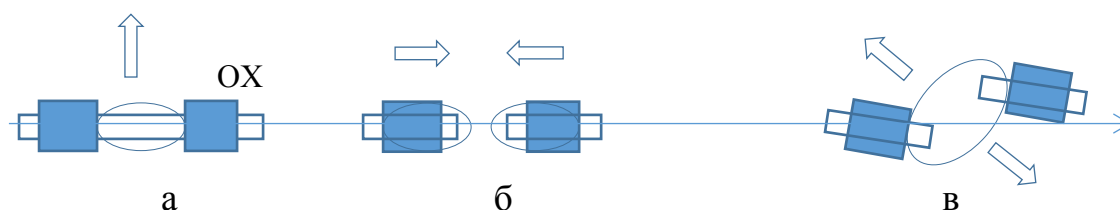


Рисунок 2.6 – Возникновение кавитационной волны при импульсе УЗ:

а – магнестрикционный элемент со сплошным сердечником; б – магнестрикционный элемент с разомкнутым сердечником; в – магнестрикционный элемент с разомкнутым смещенным сердечником

В рамках такой модели становится понятным влияние угла α на изменение скоростей движения границ полости в процессе кавитации. В самом деле, выполнив решение систем записанных уравнений для разных значений этого угла, получим следующие данные, представленные на рисунке 2.7

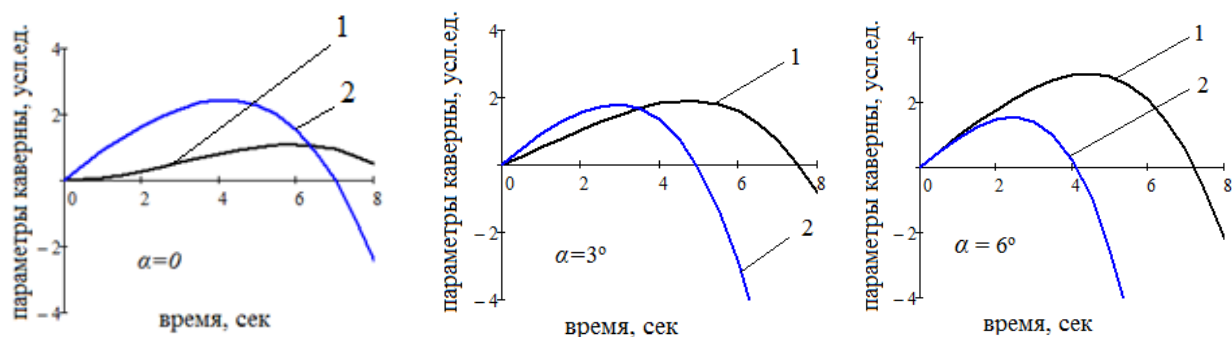


Рисунок 2.7 – Характер изменения размера каверны (1) и скорости движения кавитационной волны (2)

Анализируя полученные зависимости, можно заметить, что смещение полуосей разомкнутого сердечника магнестрикционного механизма существенно влияет на инициируемые УЗ-процессы развития каверны.

С увеличением угла смещения увеличиваются 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.

В качестве устройства, реализующего эти модельные представления, можно предложить рамную мешалку, схема которой приведена на рисунке 2.8.

Мешалку такого типа испытывали на смеси для белково-жировой композиции масс. % (от общей массы теста): соль – 1,04-1,12, сахар-песок – 17,22-17,62, жировая фаза – 25,0-28,38, меланж – 5,24-6,18 [117].

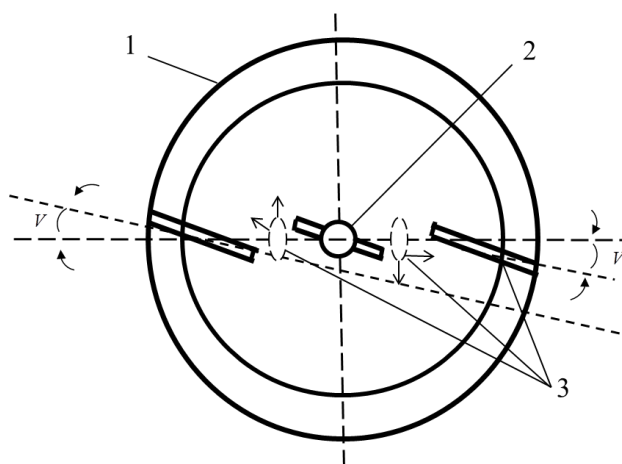


Рисунок 2.8 – Рамная мешалка (вид сверху):
 1 – ступица; 2 – ось; 3 – разомкнутый смещенный сердечник магнестрикционного механизма

Подготовка образцов осуществлялась тремя способами: без обработки УЗ и при нагреве от 20°C до 120°C в течение 60 минут, с обработкой УЗ во время перемешивания и таком же нагреве до 120°C в течение 60 минут, а также с обработкой УЗ во время перемешивания и при нагреве от 20°C до 120°C в течение 30 минут. Вид испытанных экспериментальных образцов приведен на рисунке 2.9.

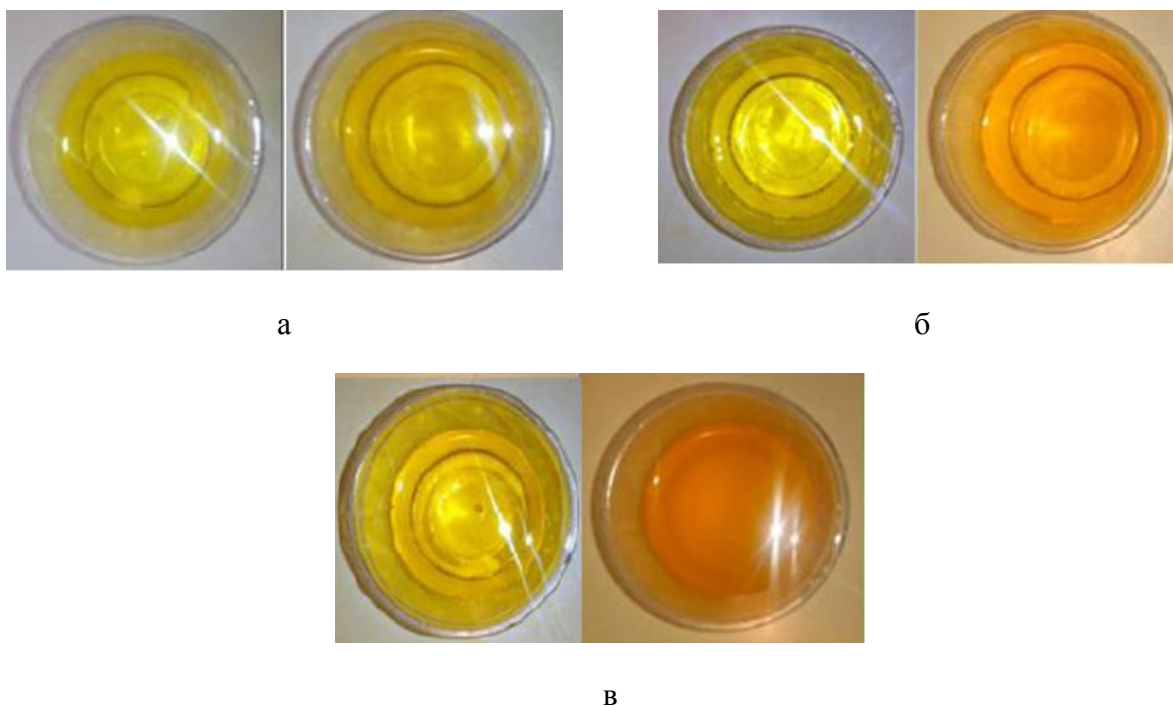


Рисунок 2.9 – Образцы белково-жировой композиции после нагрева до 120°C:
 а – без обработки УЗ при нагреве в течение 60 мин; б – с обработкой УЗ при перемешивании и нагреве в течение 60 мин; в – с обработкой УЗ при перемешивании и нагреве в течение 30 мин

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 иницируемых 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 [113].

Выполненные исследования подтвердили необходимость контролировать равномерность перемешивания ингредиентов белково-жировых композиций для выпечных сбивных кондитерских изделий, в том числе соблюдения нормативного теплового режима их выпечки.

2.3 Моделирование пекарной камеры для электроконтактной выпечки хлеба в поле инфракрасного излучения и обоснование технологических параметров ее работы

Последовательное решение проблем совершенствования функционального питания не ограничивается корректировкой рецептов приготовления блюд. Не менее важными являются исследования по совершенствованию технологического оборудования, предотвращающего потери ценных питательных веществ при переработке пищевого сырья, а

также предотвращения появления канцерогенных или других вредных химических соединений, недопустимых в функциональном питании.

Например, в этом вопросе многие исследователи большое внимание уделяют процессам формирования меланоидов, которые сейчас очень хорошо изучены. Однако при определении методов термической обработки хлебобулочных изделий часто возникают технологические проблемы. Это связано с тем, что повышение температуры ускоряет реакцию образования меланоидов с появлением интенсивной окраски при разных скоростях нагрева тестовых заготовок. Между тем нагревание некоторых смесей выше 150 °С способствует разрушению важных питательных компонентов, таких как аминокислоты. Отмечено, что содержание меланоидов сильно зависит от температуры нагрева и их образование значительно ускоряется при влажности тестовых заготовок менее 70 %.

Эти условия важны из-за изменения белкового состава, обнаруживаемого в таких полуфабрикатах наряду с углеводами. В то же время в процессе полимеризации и конденсации цветное изменение поверхности изделия влияет на снижение биологической ценности компонентов и продуктов.

Преобразования как свободных аминокислот, так и сахаров в реакции меланоидинообразования изучались большим количеством авторов, и их закономерности описаны во многих работах [67, 88, 98]. Изменение относительного содержания свободных аминокислот в муке, сбивном тесте и хлебе в динамике реализуемых процессов выпечки приведено авторами [135].

Традиционная выпечка мучных кондитерских изделий снижает биологическую ценность белков теста на 5–30 % в зависимости от варьирования теплового режима в выпечной камере и содержания сахара в тестозаготовке. Большинство авторов, исследовавших этот процесс, отмечают изменения характера термической обработки на биологическую ценность содержащегося белка. Распространено мнение, что

аминокислотный состав белков при их кислотном гидролизе в основном не изменяется. В качестве исключений приводятся примеры обработки, реализованной при достаточно высоких температурах. По-видимому, это является следствием того, что при термической обработке белковых продуктов происходит соединение аминокислот с другими составляющими с изменением физико-химических свойств белков. Возможно, это и объясняет значительные потери биологической ценности белков при довольно медленно протекающей реакции меланоидинообразования. Кроме того, имеются предположения о том, что некоторые из получаемых продуктов этих реакций могут быть токсичными [20].

Указанные особенности поведения и свойства меланоидинов сегодня не позволяют говорить однозначно о положительном или отрицательном их влиянии на конечные свойства получаемых продуктов. Вместе с тем хотя, с одной стороны, протекание реакции является причиной определенного снижения биологической ценности белков, с другой стороны, они достаточно благоприятно влияют на внешний вид, запах, вкус готовых блюд и кулинарных изделий [108].

Сущность методики расчета выпечной камеры с ЭК-нагревом заключается в учете синергетического эффекта, полученного в результате электроконтактного подвода теплоты и воздействия инфракрасного излучения на тестозаготовку при выпечке хлеба [108].

Структура методики приводится ниже.

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

$$F^2 t_{пф} + \frac{\zeta}{c_{пф}} = \frac{c_{пф} \rho_{пф}}{c_{пф}} \cdot \frac{dt_{пф}}{d\tau}, \quad (2.19)$$

где F – движущая сила массообменного процесса;

$\rho_{пф}$ – плотность полуфабриката, кг/м³;

$c_{пф}$ – теплопроводность полуфабриката, Вт/м·К;

$t_{пф}$ – температура тепловой обработки полуфабриката, °С;

d – толщина полуфабриката, м;

$q_{те}$ – удельная теплоемкость полуфабриката, Дж/кг·К;

τ – время тепловой обработки, с;

ζ – плотность мощности тепловыделений в полуфабрикate, 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 (2.19) [108] можно представить

$$\frac{lt}{l\tau} + \tau_{наг}(t - t_{oc}) = \frac{NV}{q}, \quad (2.20)$$

где q – удельное количество теплоты для выпечки хлеба, Дж/К;

$\tau_{наг} = \frac{\beta\delta}{q}$ – темп нагрева, с⁻¹;

β – коэффициент конвективно-лучистого теплообмена с окружающей средой, Вт/м²К;

δ – площадь поверхности теплообмена, м²;

V – объем полуфабриката, м³;

t_{oc} – температура окружающей среды, °С.

Решение зависимости (2.20) можно представить в следующем виде [108]

$$t(\tau) = t_0 e^{-\tau_{наг}\tau} + \tau_{наг} e^{-\tau_{наг}\tau} \int_0^\tau e^{\tau_{наг}\tau} \left(t_{oc} - \frac{NV}{\tau_{наг}q} \right) d\tau. \quad (2.21)$$

Для определения результирующей мощности, подводимой к полуфабрикату, используется зависимость

$$P(t_{пф}) = P_{фхп}(t_{пф}) + P_{рив}(t_{пф}) + P_{пф}(t_{пф}) + P_{oc}(t_{пф}), \quad (2.22)$$

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;

$P_{\text{рив}}(t_{\text{пф}})$ – мощность, расходуемая на испарение влаги, Вт;

$P_{\text{ос}}(t_{\text{пф}})$ – мощность, теряемая в окружающую среду во время нагрева, Вт.

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

$$P_3 = q(t_{\text{кон}} - t_{\text{н}}), \quad (2.23)$$

где $t_{\text{кон}}$ – температура конечная, °С;

$t_{\text{н}}$ – температура начальная, °С.

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

$$N_3 = \varphi \int_0^t i l \tau, \quad (2.24)$$

где N_3 – затраты энергии на выпечку, Дж;

φ – напряжение, В;

i – сила тока, А.

Типовой график изменения силы тока при ЭК-подводе теплоты к тестозаготовке приведен на рисунке 2.10.

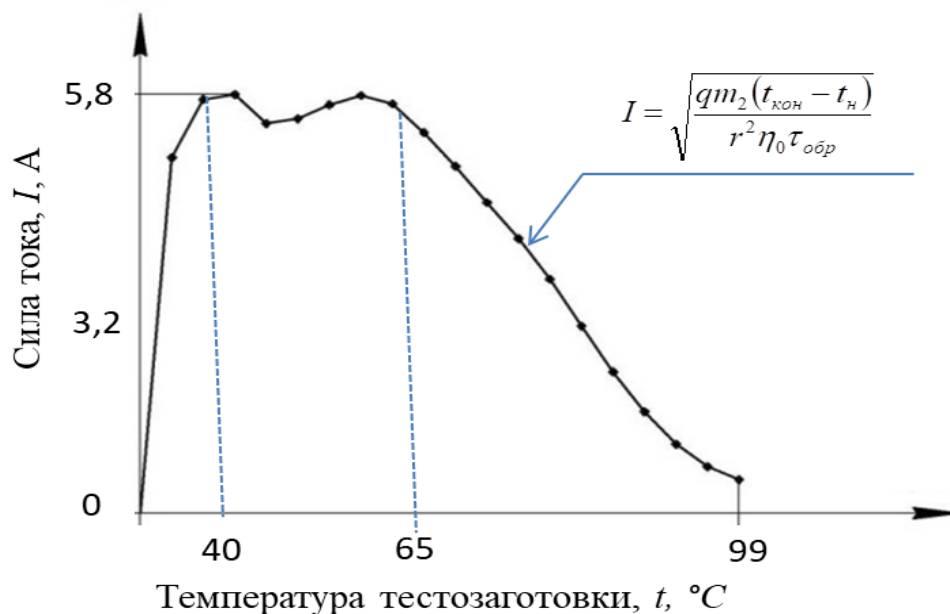


Рисунок 2.10 – Типовой график изменения силы тока в процессе выпечки: m_2 – масса тестозаготовки, кг; $t_{\text{кон}}$ – конечная температура тестозаготовки, °С; $t_{\text{н}}$ – начальная температура тестозаготовки, °С; η_0 – коэффициент, учитывающий общие потери энергии; $\tau_{\text{обр}}$ – продолжительность тепловой обработки; q – удельное количество теплоты для выпечки хлеба

Следует отметить, что расход тепловой энергии на производство хлеба в зависимости от его массы будет изменяться, при этом на единицу массы полуфабриката будет постоянной величиной. Эта величина будет равна площади интеграла изменения силы тока i по времени, деленному на напряжение φ при выпечке, что позволяет сделать вывод о том, что интеграл тока по времени тоже является постоянной величиной для единицы массы хлеба [108]:

$$N = \varphi \int_0^{t_{\text{тз}}} i l t_{\text{тз}} = \text{const},$$

$$\varphi = \text{const} = 220 \text{ В}.$$

Приведенная выше информация позволяет сделать вывод, что, поскольку площадь интеграла является постоянной величиной, повышение силы тока i при выпечке электроконтактным способом позволяет достичь сокращение продолжительности перехода теста-хлеб. Вышеперечисленное позволяет сделать вывод, что при ЭК-подводе теплоты к полуфабрикату существует взаимосвязь между I_{max} , $\tau_{\text{обр}}$ и затратами энергии $N_{\text{э}}$, которая имеет следующее выражение:

$$N_{\text{э}} = I_{\text{max}} \tau_{\text{обр}} \mu, \quad (2.25)$$

где $N_{\text{э}}$ – энергозатраты на переход теста-хлеб, кДж;

I_{max} – максимальная сила тока при переходе теста-хлеб, А;

$\tau_{\text{обр}}$ – продолжительность перехода теста-хлеб, с;

μ – коэффициент пропорциональности [108].

Процесс (показатели) тепловой обработки полуфабриката влияют на коэффициент пропорциональности μ .

Наиболее ярко выраженным и активно влияющим показателем тепловой обработки является продолжительность тепловой обработки полуфабриката $\tau_{\text{вып}}$. Необходимо отметить, что она имеет невысокий интервал значений. Это связано с тем, что температура слоев полуфабриката максимально достигает $t = 98-99,5^\circ\text{C}$, причем не за короткий промежуток времени, а по истечении определенного времени. Продолжительность тепловой обработки полуфабриката может изменяться, т.к. условия

(температура окружающей среды, влажность и др.), в которых функционирует хлебопекарная печь, различные, также на это влияют и показатели полуфабриката (влажность теста, размеры, масса, состав смеси муки и др.). Нельзя недооценивать и другие показатели, влияющие на процесс перехода теста-хлеб, например, такие как температура парогазовой среды внутри пекарной камеры, способ приготовления теста, показатели качества ингредиентов и т.д.

При выпечке хлеба с использованием ЭК-подвода теплоты напряжение φ остается постоянным. Сопротивление $R_э$, в свою очередь, можно определить по зависимости [108]

$$R_э = \frac{\rho_T L}{S'}, \quad (2.26)$$

где ρ_T – удельное сопротивление теста, Ом·м;

L – расстояние между электродами, м;

S' – площадь поперечного сечения проводника для тестозаготовки – произведение длины и высоты тестозаготовки, м².

Кинетика процесса электроконтактной выпечки хлеба представлена на рисунке 2.11.

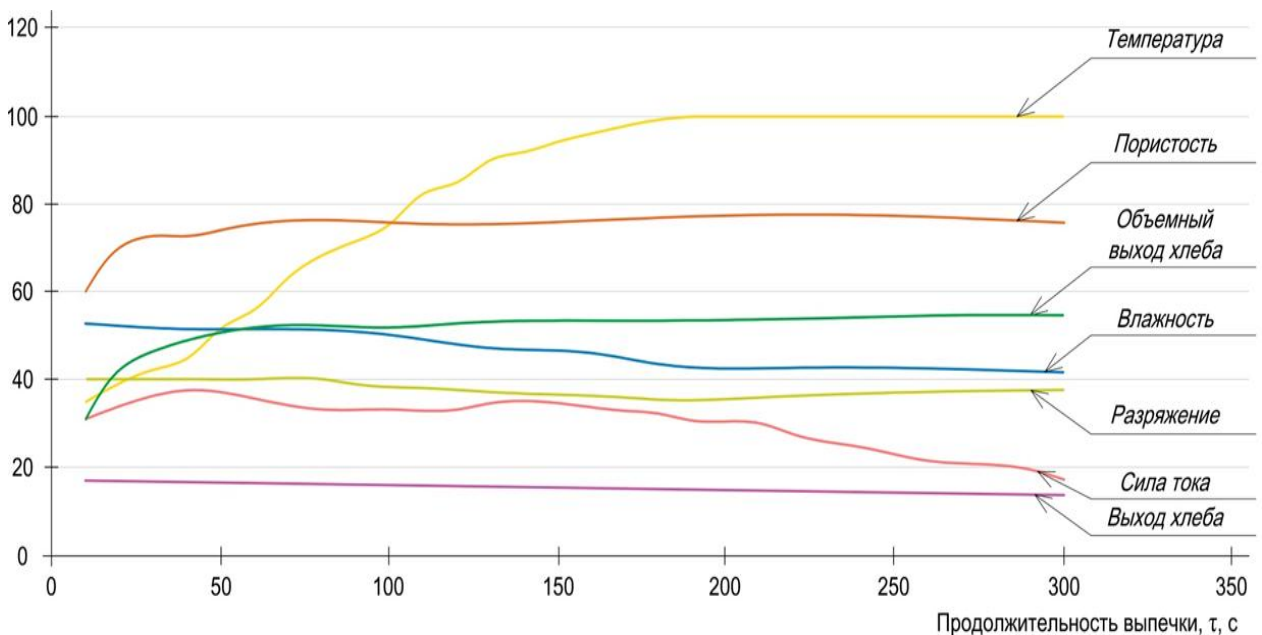


Рисунок 2.11 – Кинетика процесса электроконтактной выпечки хлеба

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

Подвергая тестозаготовку инфракрасному ИК-излучению (длина волны от 3 до 4 мкм), генерируемая тепловая энергия поглощается внешними слоями тестозаготовки. Такие характеристики инфракрасного нагрева, как эффективность, длина волны и отражательная способность, эффективно воздействуют на процесс перехода теста-хлеб.

Пищевые системы представляют собой сложные смеси различных биохимических молекул, биологических полимеров, неорганических солей и воды. Инфракрасные спектры таких смесей возникают из-за механических колебаний молекул или определенных молекулярных агрегатов в рамках очень сложного явления взаимного перекрытия. Аминокислоты, полипептиды и белки обнаруживают 2 сильные полосы поглощения, расположенные на 3-4 и 6-9 мкм. С другой стороны, липиды демонстрируют явления сильного поглощения по всему спектру инфракрасного излучения с 3 более сильными полосами поглощения, расположенными на 3-4, 6 и 9-10 мкм, тогда как углеводы дают 2 сильные полосы поглощения с центрами 3 и 7-10 мкм.

Принципиальная схема инфракрасного энергоподвода в технологии обработки тестозаготовки показана на рисунке 2.12.

Количество ИК-излучения, падающего на поверхность тестозаготовки, имеет спектральную зависимость.

Энергия, выходящая из излучателя (рисунок 2.13), состоит из разных длин волн и доли излучения в каждой полосе в зависимости от температуры и излучательной способности нагревательного элемента [108].

Длина волны, на которой происходит максимальное излучение, определяется температурой инфракрасных излучателей.

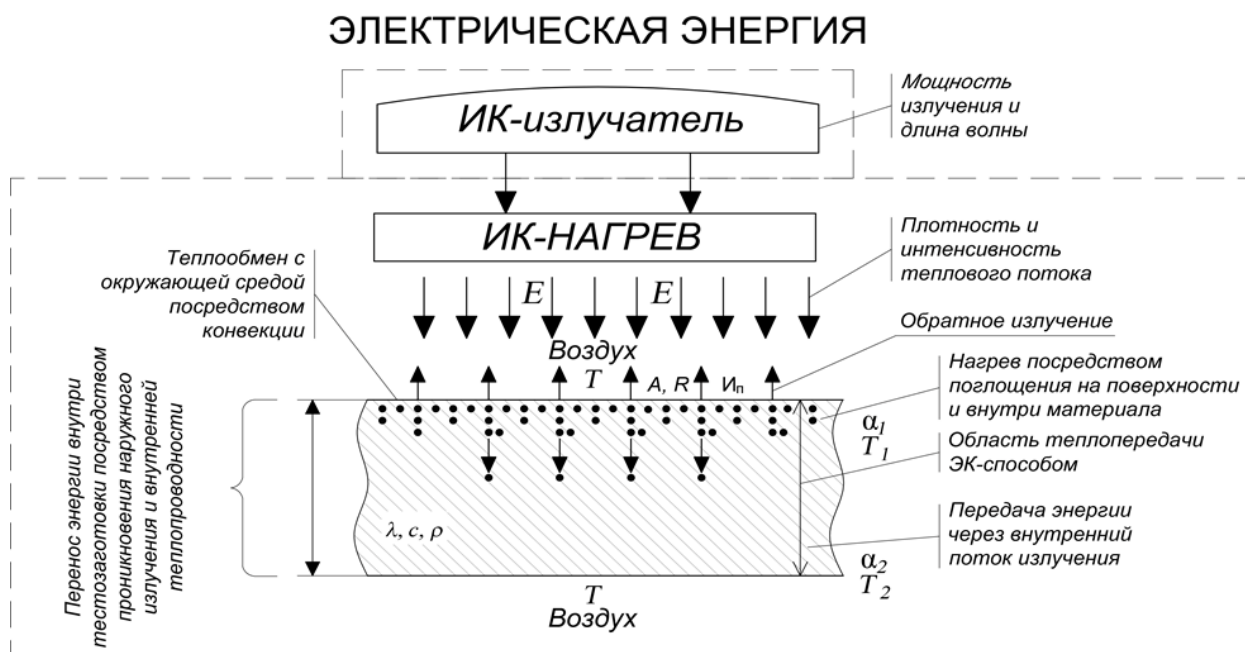


Рисунок 2.12 – Принципиальная схема ИК-энергоподвода в технологии обработки тестозаготовки:

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

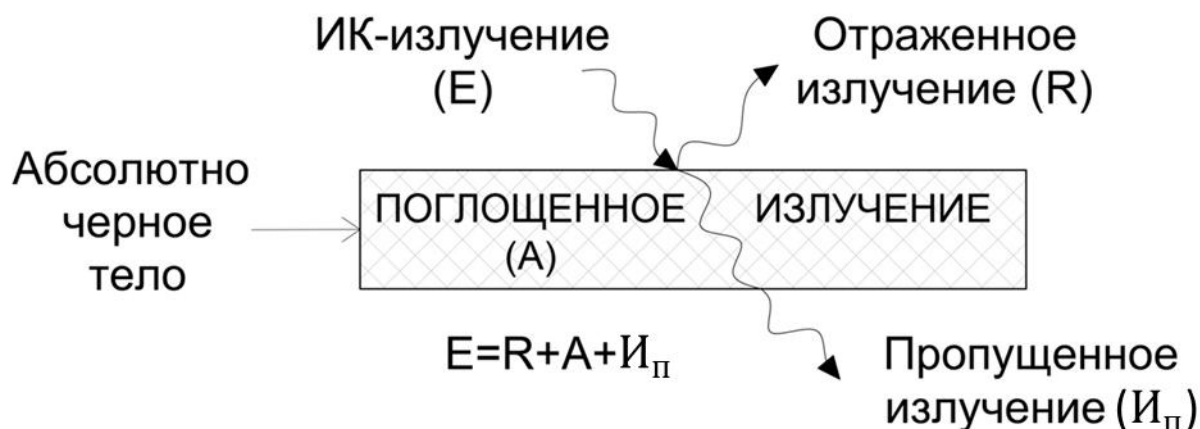


Рисунок 2.13 – Погашение излучения (поглощение, пропускание и отражение)

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

$$E_{0v} = 2\pi \frac{bf}{s_0^2} - \frac{1}{\exp\left(\frac{bf}{\delta T}\right) - 1}, \quad (2.27)$$

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.

По закону смещения Вина длина волны $\lambda_{\text{макс}}$, на которую приходится максимум энергии в спектре равновесного излучения (излучения абсолютно чёрного тела), обратно пропорциональна абсолютной температуре T излучающего тела:

$$\lambda_{\text{макс}} = \frac{c}{T}, \quad (2.28)$$

где $c \approx 2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К – постоянная Вина.

При этом закон Стефана-Больцмана определяет для абсолютно черного тела зависимость интегральной плотности потока излучения от температуры. Хотя искомое выражение E_0 определяется просто суммированием (интегрирование) энергии по сектору закона Планка

$$E_0 = \delta_0 T^4, \quad (2.29)$$

где $\delta_0 = 5,64 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К) – постоянная Стефана-Больцмана.

Достижение безопасности функциональных ингредиентов в хлебобулочных изделиях достигается за счет щадящих технологических приемов обработки и одновременного сочетания нескольких технологических приемов [106]. За счет снижения температуры парогазовой среды внутри пекарной камеры и продолжительности выпечки (ЭК-теплоснабжения) достигается получение функциональных пищевых

продуктов с сохранением полезных веществ исходного сырья и пищевых добавок (витаминов).

Этот комбинированный метод можно использовать, например, для снижения потерь пищевой добавки, такой как бета-каротин в хлебе.

Необходимо отметить, что к числу функциональных пищевых добавок можно отнести бета-каротин, широко применяемый при производстве продуктов питания. Его преимуществом является то, что он важен для функционирования организма человека, а также часть данного вещества переходит в витамин А. Из недостатков можно отметить слабую защиту под воздействием света, кислорода и высоких температур [57], в связи с чем подвод теплоты электроконтактным способом является наиболее приемлемым для производства хлеба с повышенным содержанием нутриентов.

Следует отметить, что пищевые вещества наиболее эффективно поглощают энергию длинноволнового инфракрасного излучения через механизм изменения колебательного состояния молекул, который может приводить к радиационному нагреву. Вода и органические соединения, такие как белки и крахмалы, которые являются основными компонентами пищи, поглощают энергию на длинах волн более 2,5 мкм.

Расчёт энергетической ценности (по содержанию белков, жиров и т.д.) в готовом продукте питания можно осуществить по зависимости

$$Q(z) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m k_{ij}^0 y_j^0 - \sum_{j=1}^m k_{ij} y_j \right)^2 \rightarrow \min, \quad (2.30)$$

где k_{ij}^0 – удельное содержание i -го элемента химического состава (белка, жира,

влаги и т.д.) в j -м ингредиенте до обработки;

y_j^0 – содержание i -го элемента пищевой ценности до обработки;

k_{ij} – удельное содержание i -го элемента химического состава (белка, жира, влаги и т.д.) в j -м ингредиенте в приготовленном продукте питания;

y_j – массовая доля j -го ингредиента в приготовленном продукте питания.

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:

$$K = \sum_{i=1}^m \xi_i \left(1 - \sqrt{\sum_{j=1}^n b_{ij} \left(\frac{y_{ij}^0 - y_{ij}}{\Delta y_{ij}} \right)^2} \right), \quad (2.31)$$

где ξ_i – коэффициент значимости i -й группы факторов;

b_{ij} – весовой коэффициент отклонения j -го фактора i -й группы;

y_{ij}^0, y_{ij} – значение параметра состояния j -го фактора i -й группы до и после термообработки;

Δy_{ij} – допустимое отклонение параметра от желаемого значения.

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

В целях эффективного использования и компактного размещения внутри кузова фургона 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

$$B_{л} = \sqrt{\frac{P_{\text{ЭКП}}}{S_{л} \gamma_{\text{хф}} (0,57 t g(0,35 \Omega) + 0,28) K_z}}, \quad (2.32)$$

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 (табл. 2.6).

Таблица 2.6 – Значения коэффициента K_a

Угол наклона конвейера, z	0° – 10°	10° – 15°	15° – 20°	20° – 25°
Коэффициент K_z	1,0	0,95	0,9	0,85

Параметры источника инфракрасного излучения рассчитываются с учетом длины площади облучения поверхности $l_{\text{обл}}$ по формуле [108]

$$l_{\text{обл}} = A_0/V, \quad (2.33)$$

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

$$A_0 = Bv_{\text{тз}}\tau, \quad (2.34)$$

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

$$v = P_{\text{эки}}/pBd, \quad (2.35)$$

d – толщина облучаемой тестозаготовки, м.

Выводы по главе

1. Выполнено моделирование рецептур и технологического оборудования приготовления функционального питания в условиях обособленного проживания и проанализированы возможности корректировки рецептуры хлебобулочных изделий для функционального питания.

2. Осуществлены моделирование конвейерной электроконтактной хлебопекарной печи с ИК-обогревателями и обоснование ее конструкции и как вспомогательных устройств выполнены моделирование рамной мешалки и устройства автоматизированного контроля заполнения формы при ЭК-выпечке хлеба и обоснование технологических параметров их работы.

3. Разработана методика обоснования основных конструктивных элементов конвейерной хлебопекарной печи и ее эксплуатационных

характеристик, позволяющая рассчитать геометрические размеры пекарной камеры, работа которой обеспечивает сохранение нутриентов исходного сырья.

4. Применение комплексной энергии, образующейся при инфракрасном излучении и электроконтактном нагреве тестозаготовки, размещенной в хлебопекарной форме, зафиксированной на конвейерной ленте, создает условия созревания и выпечки бескоркового хлеба без снижения показателей качества.

Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В УСЛОВИЯХ ОБОСОБЛЕННОГО ПРОЖИВАНИЯ

3.1 Методика планирования экспериментальных исследований

3.1.1 Обоснование совокупности параметров моделирования и интервалов их варьирования на основе теории подобия

Планирование экспериментальных исследований технических и технологических разработок в целях их научного обоснования и пригодности для практического применения заключалось в выборе числа и условий проведения испытаний, предложенных во 2-ой главе (о технологическом оборудовании и технологии производства хлеба) [6, 34].

Основной целью экспериментальных исследований было сравнение расчетных значений показателей эффективности технологического оборудования и технологий производства хлебобулочных изделий с экспериментальными данными по результатам испытаний образцов предлагаемого технологического оборудования.

Особенности, рассмотренные в предыдущих разделах, были учтены при планировании экспериментальных исследований и построении матриц планирования эксперимента для отработки технологического оборудования и технологий производства хлеба.

Экспериментальные испытания процессов бескорковой выпечки планировались и проводились на основе теории подобия, позволяющей определить условия подобия явлений и процессов, и на этой основе упростить единичную экспериментальную проверку, а также распространить

результаты этих исследований на другие подобные процессы и явления, происходящие в технологических устройствах в пищевых образцах, недоступных для полноценной экспериментальной проверки.

Если две системы качественно тождественны, то необходимы соотношения одинаковых величин, характеризующих их физическое подобие и в одних и тех же точках и в одно и то же время, геометрическое подобие, постоянные числа (постоянство подобия), подобие скоростей, плотности, температуры и внешних воздействующих факторов.

На основании третьей теоремы подобия Кирпичёва-Гухмана установлены следующие требования, выполнение которых необходимо, чтобы модель была подобна натурному образцу:

геометрическое подобие модели и натурального образца;

физические константы, характеризующие исследуемое явление, должны изменяться во всем объеме модели по тому же закону, что и в натурном образце;

величины, входящие в краевые условия модели и натурального образца, должны быть пропорциональными;

константы подобия, входящие в условия однозначности изучаемых явлений, должны выбираться в одном сходственном месте так, чтобы определяющие критерии имели сопоставимые числовые значения.

Из теории подобия тепловых систем Кирпичёва-Гухмана следует, что для физического моделирования реальных тепловых процессов в лабораторных условиях необходимо соблюдение равенства чисел Фурье (F_0) и Косовича (K_0), составленных из определяющих для данных систем величин.

Так, для одномерного температурного поля уравнение для двух подобных систем (корка и мякиш хлеба) с учетом фазового превращения может быть представлено в следующем виде:

для первой системы (корка):

$$dt_1/dt_1 = a_1(d_2 t_1/dx_2^1) + (r_1/c_1) \times (du_1/d\tau_1); \quad (3.1)$$

для второй системы (мякиш):

$$dt_2/dt_2 = a_2(d_2 t_2/dx_2^2) + (R_2/c_2) \times (du_2/d\tau_2), \quad (3.2)$$

где t_2 – температура парогазовой среды, °С; τ – продолжительность выпечки, с; R – теплота парообразования, кДж/кг; c – удельная теплоемкость, кДж/(кг·К); a – коэффициент температуропроводности, м/с; x – ордината полуограниченного тела, в направлении которой изменяется температура, м; при делении почленно этих уравнений одно на другое:

$$(dt_1/d\tau_1)/(dt_2/d\tau_2) = (a_1/a_2)(d_2 t_1/dx_2^1)/(d_2 t_2/dx_2^2) + (R_1/c_1)/(R_2/c_2)(du_1/d\tau_1)/(du_2/d\tau_2), \quad (3.3)$$

заменив отношения определяющих величин через константы подобия, получим:

$$t_2/t_1 = Ct; \quad \tau_2/\tau_1 = C\tau; \quad a_2/a_1 = Ca; \quad x_2/x_1 = C_1; \quad R_2/R_1 = CR; \\ c_2/c_1 = Cc; \quad u_2/u_1 = Cu. \quad (3.4)$$

Из этих выражений следует зависимость

$$C_t/C_\tau = C_a(C_t/C_1^2) + (C_r/C_c) (C_u/C_\tau), \quad (3.5)$$

отсюда

$$1 = C_a \cdot C_r/C_1^2 + (C_r/C_c) (C_u/C_t). \quad (3.6)$$

Подставив в последнее уравнение вместо констант подобия их значения, получим:

$$C_a C_r/C_1^2 = (a_2 \tau_2/1_2^2)/(a_1 \tau_1/1_1^2) = idem; \\ C_r C_u/C_c C_t = (r_2 u_2/C_2 t_2)/(r_1 u_1/c_1 t_1) = idem. \quad (3.7)$$

Из последнего выражения видно, что в нашем случае числа Фурье и Косовича будут иметь следующий вид:

$$F_0 = a\tau/1^2 \text{ и } K_0 = ru/c(t_2 - t_1) = q/c(t_2 - t_2). \quad (3.8)$$

На основании вышеизложенных положений теории подобия и конструктивных особенностей нового теплового оборудования с устройством инфракрасного и ультрафиолетового излучателей была изготовлена модель лабораторной установки, с помощью которой производились необходимые исследования.

На данном этапе исследования технологических систем производства бескоркового хлеба необходимо описать математическую модель основных

показателей качества изделий с учетом воздействия на них инфракрасного и ультрафиолетового излучений.

В теории подобия различают управляемые (искомые) и управляющие (заданные) критерии. Управляющие критерии подобия должны содержать величины, известные из условий опыта, и отражать в обобщенном виде основные факты, вызывающие изменение качественных параметров теста-мякиша хлеба.

Обобщение немногочисленных экспериментальных данных различных авторов в области сушки сухарей, макарон и результатов предварительных экспериментов позволило предположить, что основные показатели качества хлеба являются функцией ряда управляющих параметров:

$$P_{\text{хл}} = f (m_{\text{в}} m_{\text{м}} \Pi_{\text{м}} \Pi_{\text{д}} m_{\text{д}} G_{\text{д}} T_{\text{ц}} \Delta\Psi\tau), \quad (3.9)$$

где $P_{\text{хл}}$ – i -й показатель качества хлеба;

$m_{\text{в}}$ – массовая доля влаги;

$m_{\text{м}}$ – количество муки;

$\Pi_{\text{м}}$ – качество муки;

$m_{\text{д}}$ – количество дрожжей;

$\Pi_{\text{д}}$ – качество дрожжей (степень воздействия ИК-излучения на размножение и рост в период нагрева изделия);

$T_{\text{ц}}$ – температура в центре тестозаготовки;

$\Delta\Psi$ – интенсивность обработки в инфракрасном поле (мощность ИК-поля стандартной частоты (22000 Гц), Дб).

Так как выражение (3.9) в основном отражает все наиболее важные и значимые управляющие параметры, его можно считать математической моделью показателей качества хлеба.

Показатели качества готовой продукции предлагается рассмотреть в виде взвешенной суммы всех единичных показателей (каждый показатель умножается на свой коэффициент значимости), то есть комплексно, коэффициент значимости отражает важность каждого показателя для общего качества готовой продукции. Например, некоторые единичные показатели

выпеченного хлеба могут включать коричневый цвет, текстуру, мякиш, аромат и вкус. Каждый из этих показателей может иметь различный коэффициент важности в зависимости от их важности для общего опыта потребления хлеба. Таким образом, показатель с наибольшим коэффициентом будет играть более важную роль в общей оценке качества хлеба. Данная методика аналогична тем, что применяются для оценки показателей качества мяса, рыбы, овощей. Общими показателями являются внешний вид, структура, консистенция, вкус, сочетаемость ингредиентов и т.д., такие характеристики могут быть включены в общую оценку качества пищевой продукции. Столь комплексное описание позволяет учесть все аспекты качества продуктов питания и дать объективную оценку на основе взвешенной суммы всех показателей. При проведении экспериментальных исследований и оценки показателей качества бескоркового хлеба было принято решение модернизировать шкалу оценки и перейти от 5-балльной системы к 10-балльной, что позволило более точно переводить отдельные показатели качества в баллы комплексной характеристики: объемный выход на коэффициент 0,3; весовой выход – 0,1; пористость – 0,3; экспертная оценка – 0,2; кислотность – 0,02. Например, если пористость хлеба имеет коэффициент значимости 0,3, а оценка пористости составит 4 балла, то соответствующие баллы для комплексного показателя качества будут равны $4 \times 0,3 = 1,2$. При формировании группы из 10 экспертов были учтены следующие критерии: профессиональные навыки и опыт работы в области продовольственной промышленности; знание особенностей приготовления пищи для функционального питания; независимость и объективность в оценке качества продуктов; способность работать в группе и прийти к консенсусу при принятии решений. Метод ранжирования является одним из способов экспертной оценки, который позволяет сравнить различные показатели и установить их относительное значение. Каждому показателю устанавливаются весовые коэффициенты, отражающие их значимость относительно других показателей: вкус – 5; консистенция – 2; запах – 1,5;

внешний вид – 1,5. Установлено, что показатели с высокой оценкой весомей, чем с низшей и принято решение их не учитывать. Состав пищевой ценности, наличие меланоидобразований, влажность, показатели качества бескоркового хлеба определяли в специализированной аккредитованной лаборатории [51].

В качестве параметров управления использовались:

процесс ЭК-теплопередачи для перехода теста-хлеб (регулировка парогазовой среды и продолжительности движения полуфабриката по ленте), объемное напряжение, конвекция в пекарной камере (регулировка потока воздуха), время выпечки и технологические параметры (влияние и количество ингредиента в тесте, толщина полуфабриката и т. д.);

инфракрасное излучение – выбор диапазона (ближний, средний, дальний ИК), длина волны, частота.

Изменение объемного напряжения можно описать следующими соотношениями:

1) отношение напряжения к расстоянию между электродами: чем больше расстояние между электродами, тем ниже будет объемное напряжение. Это объясняется тем, что при большем расстоянии между электродами электрическое поле будет менее интенсивным;

2) соотношение напряжения к объему хлеба: чем больше объем выпекаемой частицы теста (в данном случае – объем хлеба), тем выше будет объемное напряжение. Это связано с тем, что больший объем теста требует большего напряжения для осуществления одинакового воздействия на весь объем;

3) соотношение напряжения к массе теста: чем больше масса теста, тем выше будет объемное напряжение. Это объясняется тем, что больший объем теста требует большего напряжения для достижения одинаковой энергии воздействия;

4) соотношение напряжения к мучной массе на порцию теста: чем больше мучной массы используется на одну порцию теста, тем выше будет объемное напряжение. Это связано с тем, что большее количество муки

приводит к большему объему выпекаемой частицы, требующему более высокого напряжения для одинакового воздействия на весь объем [51].

Исходя из результатов предыдущих испытаний и зависимости комплексного показателя качества от факторов, была обнаружена наиболее тесная связь между комплексным показателем качества и параметром, характеризующим связь напряжения между электродами. Коэффициенты корреляции в этом диапазоне изменения комплексного показателя качества колебались между 7 и 9 баллами. Эти результаты позволяют сделать вывод о значимости данного параметра при оценке показателя качества [107].

Был разработан и реализован план трехфакторного эксперимента на основе параметрической схемы в целях выявления влияния следующих факторов на комплексный показатель качества, органолептические свойства и объемный выход хлеба: объемное напряжение (отношение напряжения к расстоянию между электродами), массовая доля влаги в тесте и степень разрежения пекарной камеры. Результаты этого эксперимента позволят составить полную картину взаимосвязи между факторами и наблюдаемыми показателями качества, органолептическими свойствами и объемным выходом хлеба. Что в свою очередь позволит оптимизировать процесс производства хлеба для более точной оценки и прогнозирования качества и свойств готового продукта.

Анализируя экспериментальные данные, были построены плоскости равного выхода, которые позволили определить оптимальные значения факторов для достижения высокого качества хлеба. Оптимальными значениями объемного напряжения являются 4,86–5,07 В/мм. Это указывает на важность оптимальной передачи энергии внутрь теста для достижения желаемого качества хлеба. Степень разрежения пекарной камеры также имеет важное значение для качества хлеба. Оптимальные значения этого параметра составляют 32–40 кПа. Это позволяет достичь желаемой структуры и текстуры хлеба. Массовая доля влаги в тесте является еще одним фактором, важным для качества хлеба. Оптимальное значение этого

параметра находится в диапазоне 53–55 %. Оно обеспечивает необходимую влажность и упругость хлебной массы. С учетом этих оптимальных значений факторов можно достичь объемного выхода бескоркового хлеба ЭК-выпечки, составляющего не менее 53 %, экспертной оценки не менее 0,32, а комплексного показателя качества (по 10-балльной системе) не менее 8,5 баллов [107].

Теоретические и практические представления о процессе перехода теста-хлеб и результаты исследования его кинетики играют важную роль в разработке параметрической схемы процесса ЭК-выпечки для системы автоматизированного управления этим процессом. Эти исследования позволяют определить оптимальные значения управляющих параметров, которые способствуют производству высококачественного продукта. Основные цели и задачи исследований заключаются в научном обосновании и экспериментальной проверке предложенного образца технологического оборудования и технологии для продовольственной службы и включают в себя анализ особенностей процесса, формализацию задач, а также определение ключевых этапов проведения экспериментальных исследований. Формализация задач может включать определение основных входных и выходных параметров, постановку целевых функций, разработку математических моделей, определение критериев качества и других важных показателей. Основные этапы проведения экспериментальных исследований включают разработку плана эксперимента, сбор и анализ данных, проверку и интерпретацию результатов. Это позволяет оценить влияние различных факторов на процесс и получить высококачественный продукт.

3.1.2 Планирование многофакторного эксперимента

Техническими решениями для производства бескоркового хлеба является конвейерная хлебопекарная печь.

Конструкции рамной мешалки и конвейерной хлебопекарной печи были рассмотрены в параграфе 2.2 и 2.3.

Параметром оптимизации функционирования конвейерной хлебопекарной печи является продолжительность тепловой обработки, τ , мин.

Продолжительность тепловой обработки τ , мин зависит от следующих факторов: сила тока I , А, температура t , °С и влажность W , %. Уровни и интервалы варьирования этих факторов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Уровни и интервалы варьирования факторов экспериментальных исследований основных характеристик продолжительности тепловой обработки

Факторы	Сила тока, А, x_1	Температура, °С, x_2	Влажность, %, x_3
Основной уровень	5	99	48
Интервал варьирования	1,5	10	8
Нижний уровень	3,5	89	40
Верхний уровень	6,5	109	56

Порядок проведения, план эксперимента и результаты опытов показаны в таблицах 3.2.

Таблица 3.2 – Порядок проведения, план эксперимента и результаты испытаний продолжительности тепловой обработки

№ опыта	Матрица планирования			Продолжительность тепловой обработки										Y_{cp}	S_j^2
				отклики											
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}		
1	-	-	-	20,2	20,3	20,2	20,3	20,3	20,6	20,8	20,3	20,6	20,8	20,44	0,5
2	-	+	+	20,1	20,5	20,1	20,5	20,9	21	20,6	20,9	21	20,6	20,62	1,0
3	-	+	-	19,8	20,1	19,8	20,1	20,3	19,6	20	20,1	20,1	19,7	19,96	0,4
4	-	-	+	19,9	20,1	19,9	20,1	20,2	19,8	20,4	20,2	19,8	20,4	20,08	0,45
5	+	-	-	20,4	20,5	20,4	20,5	20,6	20,5	20,6	20,6	20,5	20,6	20,52	0,05
6	+	+	+	19	19,2	19	19,2	19	18,5	19,1	19	18,5	19,1	18,96	0,58
7	+	+	-	18,3	18,5	18,3	18,5	18,8	17,9	17,8	18,13	17,9	18,1	18,223	0,9
8	+	-	+	18,5	19	18,5	19	18,6	18,5	18,6	18,6	18,5	18,6	18,64	0,34
Сумма														4,314	

Однородность результатов испытаний конвейерной хлебопекарной печи определялась по критерию Кохрена [38].

Дисперсия результатов каждого испытания (опыта) (S_j^2) вычислялась по зависимости

$$S_j^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{u=1}^m (y_{ju} - y_j)^2, j = 1, 2, \dots, N, m = 2. \quad (3.10)$$

Расчет суммы дисперсии опытов $\sum S_j$ выполнялся по формуле

$$S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 + S_5^2 + S_6^2 + S_7^2 + S_8^2 = \sum_{j=1}^8 S_j^2 = 16,57. \quad (3.11)$$

Значение коэффициента Кохрена определялось по зависимостям:

$$\text{продолжительность тепловой обработки } G = \frac{S_{max}^2}{\sum S_j^2} = \frac{2,6}{16,572} = 0,16. \quad (3.12)$$

Для уровня значимости $\alpha = 0,05$ табличное значение G критерия составляет $G_{кр} = 0,679$ [38].

Тестовое значение критерия, рассчитанное по соотношению (3.3), меньше этого значения. В результате предположение об однородности изменения времени термообработки подтвердилось. Это позволяет нам продолжить разработку математической модели работы конвейерной печи.

Для учета нелинейности влияния факторов на продолжительность термообработки в конвекционной печи в план эксперимента включены векторы-столбцы взаимодействия между факторами (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Расчет коэффициентов уравнения регрессии

№ опыта	x_0	Матрица планирования			Векторы-столбцы взаимодействия			Отклики
		x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	
1	+	-	-	-	+	+	+	44,05
2	+	-	+	+	-	-	+	45,16
3	+	-	+	-	-	+	-	47,66
4	+	-	-	+	+	-	-	48,53
5	+	+	-	-	-	-	+	50,86
6	+	+	+	+	+	+	+	53,57
7	+	+	+	-	+	-	-	52,46
8	+	+	-	+	-	+	-	53,82

Расчет коэффициентов уравнения регрессии выполнялся по зависимости

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} y_i, j = 0, 1, \dots, \quad (3.13)$$

$$b_0 = (44,05 + 45,16 + 47,66 + 48,53 + 50,86 + 53,57 + 52,46 + 53,82): 8 = 49,42.$$

Результаты расчета коэффициентов уравнения регрессии показаны в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Коэффициенты уравнения регрессии

Параметр оптимизации	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}
Продолжительность тепловой обработки	39,435	3,135	0,233	0,852	0,218	0,302	-1,150

На следующем этапе проверялась значимость полученных коэффициентов уравнений регрессии по расчету продолжительности тепловой обработки. Для этой цели определялась дисперсия воспроизводимости опытов ($S_{\text{ВОСПР}}^2$), а затем дисперсия ошибки (S_{bi}^2). Продолжительность тепловой обработки:

$$S_{\text{ВОСПР}}^2 = \frac{1}{N} \sum S_j^2 = \frac{1}{8} \cdot 16,572 = 2,072; \quad (3.14)$$

$$S_{bi}^2 = \frac{1}{Nm} \cdot S_{\text{ВОСПР}}^2 = \frac{2,072}{2 \cdot 8} = 0,129, S_{bi} = \sqrt{S_{bi}^2} = \sqrt{0,36}. \quad (3.15)$$

В последующем определялось число степеней свободы при двух уровнях факторов ($m = 2$) и N -опытах ($N = 8$)

$$f_2 = N(m - 1) = 8(2 - 1) = 8. \quad (3.16)$$

Далее по таблице Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $f_2 = 8$ было определено критическое значение ($t_{кр}$) критерия Стьюдента $t_{кр} = 2,31$.

Расчет доверительных интервалов Δt_i коэффициентов уравнения выполнялся по зависимости

$$\Delta t_i = \pm t_{кр} \cdot S_{bi} = 2,31 \cdot 0,36 = \pm 0,83. \quad (3.17)$$

Так как абсолютная величина $t_{кр} > \Delta t_i$, коэффициенты достоверны и значимы. Оценка значимости коэффициентов регрессии показала, что на параметр оптимизации функционирования конвейерной хлебопекарной печи оказывает сила тока I , А, температура t , °С и взаимодействие сила тока I , А и влажность W , %. Исходя из этого, уравнение регрессии для расчета производительности будет иметь следующий вид:

$$Y_T = 39,435 + 2,127x_1 + 0,878x_2 - 1,38x_2^1.$$

На следующем этапе осуществлялась проверка адекватности математических моделей. Для этого было определено значение параметров

оптимизации (y_j^*) по уравнению регрессии в каждом опыте. Результаты расчетов параметров оптимизации показаны в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты расчетов параметров оптимизации по уровню регрессии

№ опыта	Значение параметров оптимизации по данным натурального эксперимента	Значение параметров оптимизации по уровням регрессии	$(\Pi y_{CP} - \Pi y^*)^2$
	Πy	Πy^*	
1	44,05	44,298	0,072
2	45,16	46,002	0,725
3	47,66	46,598	0,778
4	48,53	48,302	0,065
5	50,86	50,568	0,052
6	53,57	52,272	1,745
7	52,46	52,868	0,165
8	53,82	54,572	0,482
4,084			

$$y_j^* = b_0 + b_1(-1) + b_3(-1) - b_2^1(+1) - b_3^2(+1).$$

Дисперсия адекватности рассчитывалась по зависимости

$$S_{\text{АД}}^2 = \frac{m}{N-1} \sum_{j=1}^N (y_j - y_j^*)^2 = \frac{2}{8-4} \cdot 3,919 = 1,96. \quad (3.18)$$

В последующем было определено отношение дисперсии адекватности к дисперсии продолжительности (расчетное значение критерия Фишера)

$$F_{\text{Пр}} = \frac{S_{\text{АД}}^2}{S_{\text{ВОСПР}}^2} = \frac{2,072}{1,96} = 1,057. \quad (3.19)$$

Значение критерия Фишера определялось по [53] при числе степеней свободы $f_4 = N - l = 8 - 4 = 4$, где l – число значимых коэффициентов регрессии ($l_{\text{Пр}} = 4$).

При уровне значимости $\alpha = 0,05$, табличное значение для производительности $F_{\text{кр}} = 3,84$.

Так как $F < F_{\text{кр}}$ ($1,057 < 3,84$), то гипотеза об адекватности модели не отвергается.

Таким образом, планирование и проведение многофакторного эксперимента позволили установить, что по уровню технического совершенства предложенные образцы технологического оборудования относятся к группе современных образцов.

3.2 Результаты экспериментальных исследований аппарата для приготовления функционального питания

Экспериментальные исследования с использованием экспериментальной конвейерной хлебопекарной печи позволили получить следующие результаты:

1). Подтверждена степень соответствия предложенных образцов технологического оборудования 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, влияющие на эксплуатационные показатели работы образцов технологического оборудования, и технологии производства хлеба, приготовления мяса, рыбы и овощей с заданными показателями качества.

2). Рассчитаны основные конструктивные элементы конвейерной хлебопекарной печи (таблица 3.6), обеспечивающие производительность хлеба из муки пшеничной 1 сорта до 400 кг в сутки.

Таблица 3.6 – 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

На рисунке 3.1 показано влияние сорта муки и влажности тестозаготовки на показатели качества готовых изделий.

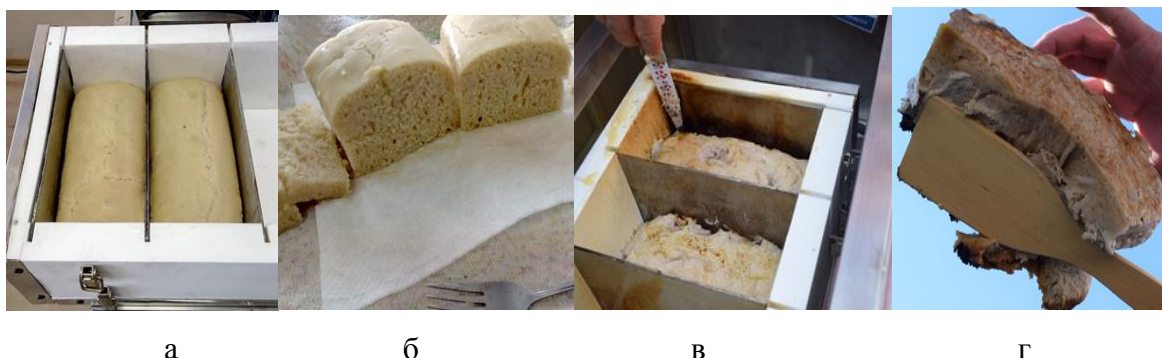


Рисунок 3.1 – Результаты экспериментальных исследований:

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

Экспериментально подтверждено влияние инфракрасного излучения на структуру (молекулярную и клеточную) теста-хлеба, что позволило вносить дополнительные добавки (бета-каротин, яичную скорлупу) в состав ингредиентов функционального хлеба. Особенности ИК-излучения: осуществлять нагрев клеток на глубине 1-3 см внутри полуфабриката, что позволяет разрушать структуру плесени и грибков, а также ускорять процесс перехода теста-хлеб. Следует отметить, что это также обеспечивает равномерность повышения температуры внутренних слоев, при этом снизив упек. Также положительным фактором при выпечке хлеба в полевых условиях (табл. 3.7 и 3.8) является обеззараживание верхних слоев тестозаготовки.

Таблица 3.7 – Процессы, происходящие при повышении температуры

Продолжительность выпечки, мин	Температура тестозаготовки, °С	Влияние теплоты на полуфабрикат	Изменение показателей силы тока, А
1-1,5	32-54	Повышение объема	Повышается
1,5-2,5	55-78	Набухание белков и углеводов, снижение перемещения ионов	Уменьшается
2,5-3,5	79-86	Снижение роста объема	Повышается
3,5-5	87-95	Способность белков к набуханию уменьшается	Увеличивается
5-7	95-99	Повышается испарение воды, объем готового изделия прекращает увеличиваться	Уменьшается из-за снижения влажности структуры

Таблица 3.8 – Результаты электроконтактного энергоподвода при изменении напряжения ($m_{\text{хлеба}} = 1 \text{ кг}$)

Показатели	Напряжение, В		
	120	220	380
Сила тока, А	4,1–5,0	4,3–5,7	4,8–6,1
Массовая доля влаги, %	51–55	52–54	54–56
Продолжительность выпечки, мин	8-9,2	5,5-7,1	6,1-7

3). Изучено влияние ЭК-нагрева и инфракрасного излучения на продолжительность выпечки хлеба ($m = 0,7 \text{ кг}$) и на снижение меланоидинообразования.

4). Проведены исследования выпечки бескоркового хлеба из замороженной тестозаготовки, результаты представлены на рисунках 3.2 и 3.3.

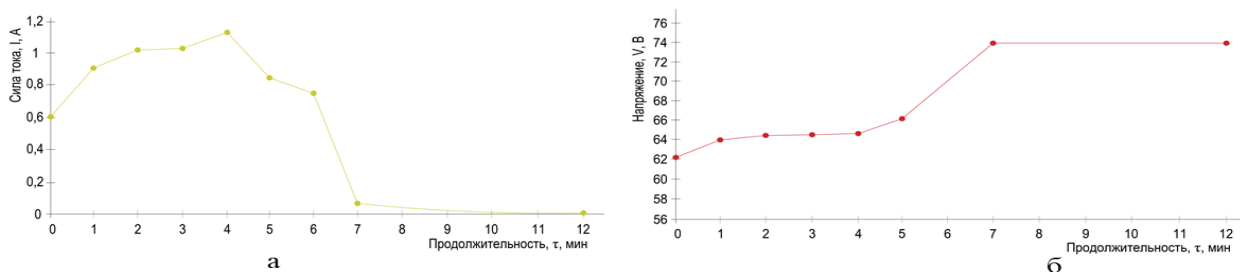


Рисунок 3.2 – Исследование тока (а) и напряжения (б) при выпечке бескоркового хлеба при комплексном воздействии полей

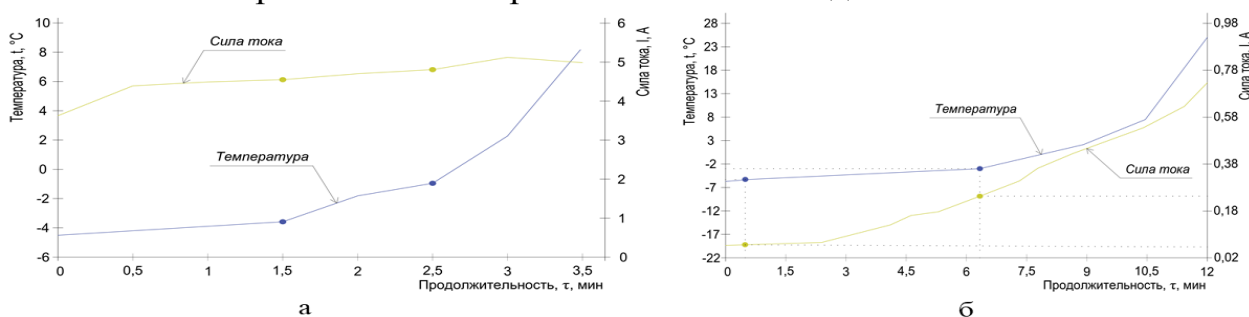


Рисунок 3.3 – Особенности выпечки бескоркового хлеба из замороженной тестозаготовки:

- а – изменение силы тока и температуры полуфабриката;
- б – график изменения силы тока при размораживании мякиша

Диаграмма органолептических показателей бескоркового хлеба, выпеченного из замороженной тестозаготовки, представлена на рисунке 3.4.

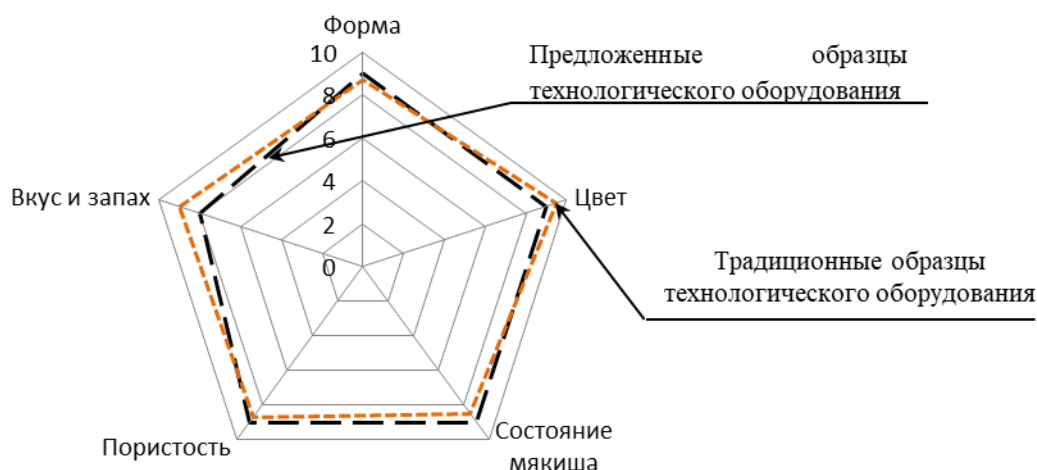


Рисунок 3.4 – Диаграмма органолептических показателей хлеба, выпеченного из замороженной тестозаготовки

5). Изучено влияние комплексного воздействия полей на сохранность функциональных ингредиентов хлеба.

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, созревая «образ» традиционной булочки, а также снижение активности размножения грибков и плесени – стерилизует готовый продукт питания [108].

Конструктивные особенности предложенной хлебопекарной печи за счет комбинированного подвода теплоты (внутри пекарной камеры) при принудительной конвекции обеспечивают процесс выпечки функционального хлеба. При незначительной продолжительности выпечки хлеба $\tau=6-8$ минут тесто успевает перейти в состояние мякиша. Тепловое поле, воздействующее на тесто щадяще влияет на функциональные ингредиенты, добавленные для повышения витамина А и кальция в готовом продукте питания [106].

б). Рассмотрев особенности производства хлеба в полевых условиях с использованием предложенных образцов технологического оборудования (месильной камеры, рамной мешалки, хлебопекарной электрической печи,

электроконтактной хлебопекарной печи) [79,80,108,114], можно сделать 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 для ограниченных пространств.

Результаты экспериментальных исследований позволили сделать вывод, что гипотеза о возможности производства функционального хлеба за счет совершенствования процессов и аппаратов производства теста и хлеба, использования комплексного воздействия полей, без снижения показателей качества и с возможностью повышения пищевой ценности готового изделия, подтверждена.

7). Сравнительная оценка показателей качества бескоркового хлеба (выпеченного по предложенной технологии) показана на рисунке 3.5. 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 благоприятного воздействия на добавки, внесенные в состав полуфабриката, снижение канцерогенов и предотвращение процесса несанкционированного меланоидинообразования.

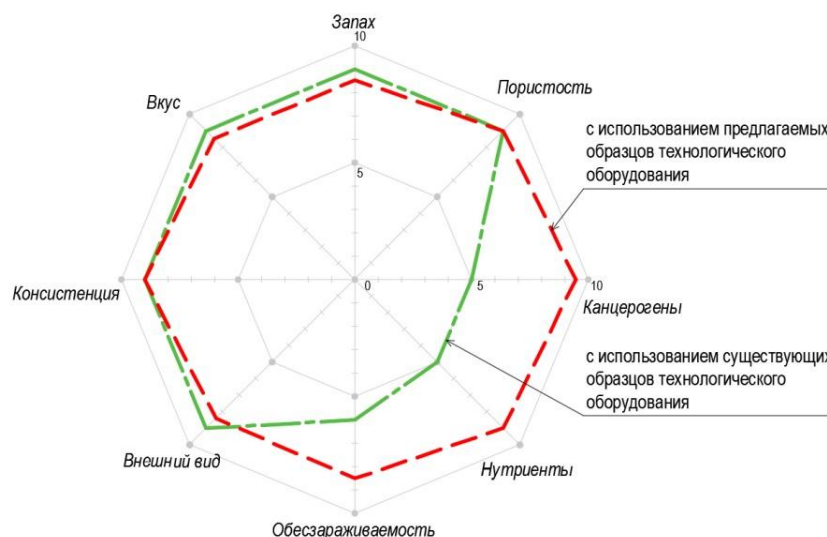


Рисунок 3.5 – Лепестковая диаграмма характеристик качества продуктов для функционального питания

3.3 Рекомендации по применению разработанной рамной мешалки в целях подготовки белково-жировых эмульсий для приготовления теста и пекарной камеры при выпечке бескоркового хлеба

При обеспечении обособленных групп людей технологическим оборудованием возникают проблемы с выбором перемешивающего устройства для осуществления подготовки белково-жировых композиций при выпечке хлеба.

Смесители с фиксированной рамой представляют собой низкоскоростные смесители [1-4].

Их слабая сторона – трудности изготовления из-за высокой металлоемкости, недостаточной надежности и большой массы.

Рамный смеситель характеризуется лопастями, выполненными в виде изогнутой трубки, внешняя поверхность которой снабжена пластинами, прикрепленными к центру трубки и существенной перемычкой к круговым лопастям, а также к горизонтальной и вертикальной плоскостям [71].

Существенным недостатком является высокая металлоемкость из-за большого количества пластин, приваренных к лопастям и мосту.

Наиболее совершенным является рамочный смеситель, включающий в себя концентрическую пробку и лопасти в виде централизованно установленных трубок, представленных на рисунке 3.6. Такое конструктивное выполнение позволит обеспечить определенную эксплуатационную надежность мешалки, но не обеспечивает турбулизации среды вдоль лопастей. Решающим является повышение эксплуатационной надежности и обеспечение турбулизации среды не только вдоль лопастей, но внутри всего корпуса аппарата.

Наиболее эффективной в этом случае может оказаться рамная мешалка, содержащая корпус, вал со ступицей и лопасти, закрепленные на ней, причем лопасти выполнены в виде разомкнутого сердечника

магнитострикционного устройства как отрезков ферромагнитных труб, на каждом из которых размещены электромагнитные катушки.

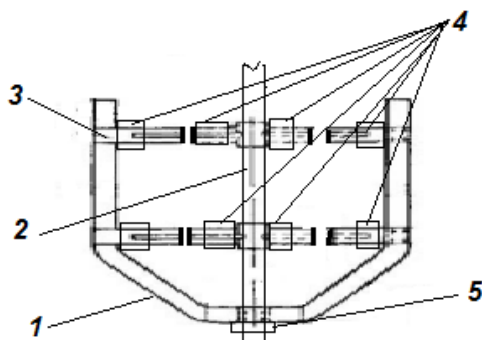


Рисунок 3.6 – Рамная мешалка:

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

Структура установки предполагает, что отрезки труб попарно закреплены в трех вертикальных плоскостях. Четыре отрезка расположены на ступице в центральной плоскости, проходящей через ось рамной мешалки. По два отрезка находятся на корпусе установки в двух плоскостях с обеих сторон от центральной плоскости. Важно отметить, что все плоскости закрепления отрезков труб установлены под углом примерно 5-7 градусов относительно центральной фронтальной плоскости, которая проходит через ось вращения. Каждая электромагнитная катушка установки подключена к источнику питания. Важно отметить, что все электромагнитные катушки обеспечивают возможность одновременной подачи на них электроимпульсов. Такая структура и функциональность установки позволяют создавать взаимодействие и воздействие на отрезки труб путем использования электромагнитных сил, что может быть полезно в различных технических задачах или процессах.

Рамная мешалка содержит ступицу 1, закрепленную на валу 2 перемешивающего устройства, отрезки труб 3 в виде разомкнутого сердечника магнитострикционного устройства, электромагнитные катушки 4, при этом ступица 1 крепится на валу 2 с помощью гайки 5.

Встроенная рамная мешалка работает следующим образом.

При включении электродвигателя центр рамной мешалки перемещается. Лопасты в виде отрезков труб создают вращательное движение жидкости в машине. Белково-жировая композиция перемешивается и разделяется на несколько слоев по высоте рамного миксера. При вращении рамного смесителя через каждый такой слой за счет зазора между валом и секциями трубки концентратора создается крутящий момент, который заставляет поток внутри слоя вращаться и образовывать вихревой шнур. Далее слои перемешиваются по высоте. При включении мешалки электроимпульсы подаются на электромагнитные катушки, установленные на оси 2 и ступице 1, с определенным промежутком времени. Пара электромагнитных катушек 4, которые являются магнитоотрицательным устройством с искривленным сердечником из-за зазора, начинают генерировать кавитационные волны. Изгиб сердечника создает условия для распространения кавитационных волн как в окружном, так и в радиальном направлениях. Это позволяет перемешивать композицию не только в плоскостях, где расположены магнитоотрицательные устройства, но и после взаимодействия этих волн со стенками корпуса, охватывая всю объемную часть установки. Затяжка гайкой 5 обеспечивает надежную фиксацию угла размещения плоскостей, где размещены отрезки магнитопровода. Это позволяет сохранять желаемый угол и обеспечивает правильную ориентацию волн и перемещение композиции в установке.

Такая конструкция обеспечивает перенос тепла и массы по всему устройству, что позволяет улучшить операции смешивания, обеспечивая при этом эксплуатационную надежность и снижая металлоемкость оборудования.

Как показали испытания, в предлагаемом техническом решении угол относительного поворота плоскостей между собой может регулироваться в зависимости от мощности подаваемых на электромагнитные катушки импульсов, что обеспечивает перемешивание композиций разных плотностей и вязкостей.

С использованием предложенной выше методики разработана конвейерная хлебопекарная печь на основе применения электроконтактного прогрева выпекаемой тестозаготовки, инфракрасного излучения и принудительной конвекции.

Сущность технического решения заключается в использовании комплексного воздействия теплоты в процессе выпечки (электрического тока высокой частоты и инфракрасного излучения), обеспечивающего трение и колебание молекул внутренних слоев тестозаготовки, обработки внешнего слоя, в результате чего выделяется теплота и реализуется переход теста-хлеб при значительном снижении температуры парогазовой среды и упека готового изделия [107].

Общий вид конвейерной хлебопекарной печи представлен на рисунке 3.7.

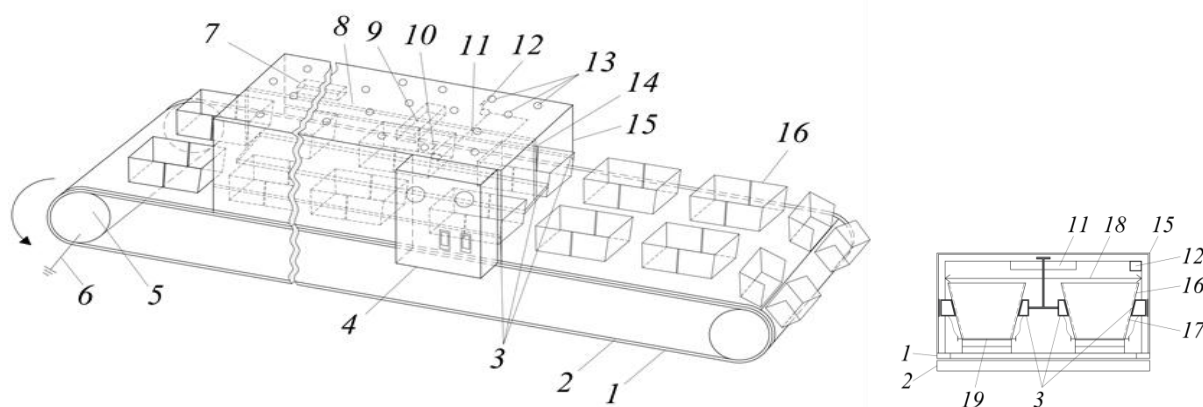


Рисунок 3.7 – Общий вид конвейерной хлебопекарной печи:

1 – лента; 2 – конвейер; 3 – электрод; 4 – блок управления; 5 – ведущий диск; 6 – заземление; 7 – ультрафиолетовая лампа; 8 – электрический провод; 9 – источник инфракрасного излучения; 10 – датчик температуры; 11 – вентилятор; 12 – датчик влажности; 13 – перфорация; 14 – штанга; 15 – корпус; 16 – хлебопекарная форма; 17 – токопроводящая пластина; 18 – пекарная камера; 19 – диэлектрическая пластина

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 3.8.

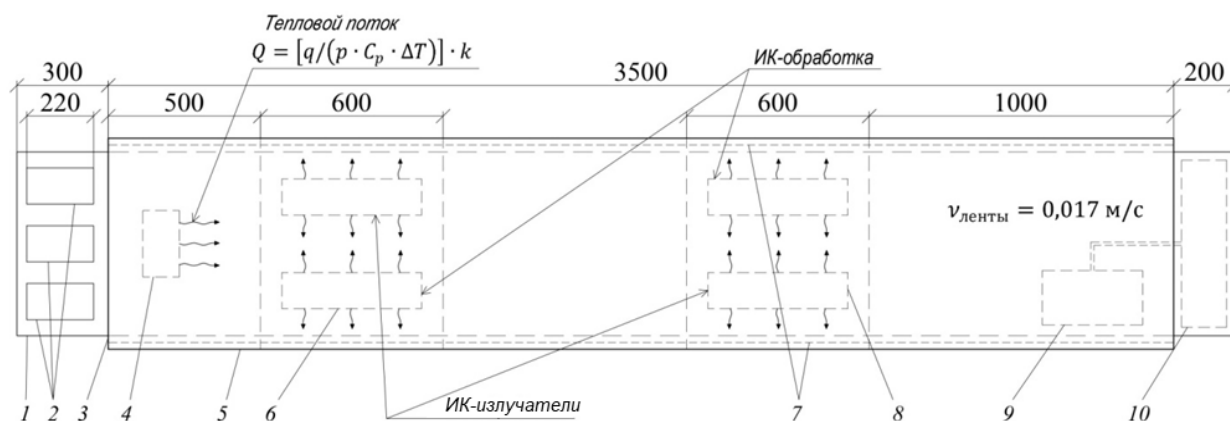


Рисунок 3.8 – Принцип работы конвейерной хлебопекарной печи:

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

Конструкция хлебопекарной конвейерной электроконтактной печи предусматривает включение в ее состав корпуса (15) (как вариант, из нержавеющей стали), внутри которой размещена пекарная камера (18) (как вариант, изготовленная из тефлона).

В крыше пекарной камеры (18) проделана перфорация (13) (как вариант, несколько, отверстия круглой формы). Диэлектрическая пластина (19) (как вариант, пищевой пластмасс, прямоугольной формы толщиной 3 мм, разделенный на две части) жестко зафиксирована (клеевым способом) на внешней стороне подушки (20) (как вариант, из диэлектрического материала, высотой 10 мм, с возможностью сгибаться). На внешней стороне дна хлебопекарной формы (16) (как вариант, прямоугольной формы, из алюминия) лазерной резкой проделан паз по длине токопроводящей пластины (17), жестко зафиксированной к внутренней стенке. Диэлектрическая пластина (19) обеспечивает электробезопасность и не позволяет соприкасаться влаге с металлическими частями печи. Подушка (20) неподвижно (болтовым соединением) зафиксирована на внешней стороне ленты (1).

Токопроводящая пластина (17) через электрод (3) (как вариант, по форме металлической щётки) связана с источником переменного

электрического тока промышленной частоты. Электрод (3), жестко закрепленный на боковых стенках и штанге (14), зафиксированной по центру к потолку пекарной камеры (18) по всей длине.

Автоматизация процесса управления достигается за счет включения в комплект печи блока управления (4), обеспечивающего автоматическую регулировку подаваемого напряжения (120 В, 220 В), при силе тока до 6 А на токопроводящую пластину (17) (выполняющую роль электрода) и поддержание оптимального режима превращения теста-хлеб.

Блок управления (4) через шину имеет обратную связь с датчиком влажности (12), датчиком температуры (10), а также вентилятором (11), ультрафиолетовой лампой (7), источником инфракрасного излучения (9) (как дополнительного источника тепловой обработки тестозаготовок).

Хлебопекарная конвейерная электроконтактная печь работает следующим образом. Тесто влажностью $W = 54\text{--}56\%$ после замеса (безопасный способ тестоведения) помещается в хлебопекарную форму (16), размещенную на ленте (1) перед пекарной камерой (18). Круговое движение ленты (1) по конвейеру (2) позволяет перемещение хлебопекарной формы (16) в пекарную камеру (18), что обеспечивает соприкосновение электрода (3) с токопроводящей пластиной (17). Скорость движения ленты (1) устанавливается на блоке управления (4) и зависит от массы тестозаготовки, ее влажности и количества соли. Включение в комплект печи дополнительных источников теплоты и вентилятора внутри пекарной камеры обеспечивает создание оптимальных (температура $t = 31\text{--}33$ °С, влажность воздуха $W = 79\text{--}84$ %) условий для выпечки бескоркового хлеба. Перфорация (13) по оси крышки корпуса (15) позволяет отводить пары, выделяющиеся из тестозаготовок. Выпеченный хлеб извлекается из хлебопекарной формы (16) самостоятельно, в момент перемещения ленты (1) через ведущий ролик (5).

Полезность технической разработки заключается в том, что, в отличие от существующих образцов, применение в процессе электроконтактной выпечки хлеба в хлебопекарной камере, изготовленной из фторопласта с

широким диапазоном регулируемого напряжения выпечки, дает возможность использования ее для расстойки теста, выпечки бескоркового хлеба и производства сухарей с использованием математического моделирования.

Преимущества линии состоят в том, что, в отличие от существующего аналога, она обеспечивает интенсификацию производства бескоркового хлеба в 1,3–1,5 раза, снижение меланоидинообразования и неусвояемых организмом соединений, позволяет сохранить находящиеся в тесте витамины, а также позволяет производить хлеб функционального назначения за счет корректировки его состава минеральными веществами, а также пищевыми волокнами и тд.

Выводы по главе

1. В целях экспериментальной проверки пригодности технических и технологических решений для практического применения в лечебных учреждениях по месту проживания обособленных трудовых коллективов была разработана методика эксперимента, сформулированы цели, задачи, сущность, особенности, способы формализации и основные этапы проведения экспериментальных исследований.

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

3. Установлено, что характер выявленных закономерностей соответствует аналогичным расчетно-теоретическим закономерностям, полученным из общих положений экономической теории.

4. 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 улучшает органолептические

показатели хлеба на 12-16 %, способствует повышению пищевой ценности на 22-27 % и снижению продолжительности производства продуктов питания и трудозатрат на 18-22 %. Это обеспечивается за счет сохранения биологической ценности использованного пищевого сырья и добавок путем уменьшения меланоидинообразования и предотвращения появления неусвояемых организмом соединений.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕКОМЕНДУЕМЫЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

4.1 Общие принципы оценки эффективности новых технических разработок

Уже в XVIII веке возникла необходимость экономить пищевое сырье при его переработке. Знаменитый английский учёный Томас Мальтус выдвинул гипотезу, что продовольственные ресурсы увеличиваются по мере арифметического роста, а численность населения увеличивается в соответствии с геометрическими законами роста [7]. По его словам, такое предположение неизбежно приводит к социальной катастрофе из-за появления крупных групп населения, не имеющих продовольственной безопасности. Подобные взгляды обосновывали теорию о необходимости эффективного использования всех ресурсов как одного из главных условий роста национального дохода и производства продукции материальной промышленности. В результате возникло стремление сэкономить ресурсы и снизить их нерациональное использование в производстве, особенно продуктов питания, сохранив их качество.

Ресурсоемкость продукции – термин, принятый для характеристики затрат материальных ресурсов для любой отрасли производства, в том числе и для производства продуктов питания [113].

Под ресурсоемкостью продукции понимают совокупность характеристик, описывающих совокупные затраты различных видов и назначений ресурсов, затраченных на ее создание и использование. При этом их можно охарактеризовать понятиями «ресурсопотребления» и «ресурсосбережения».

Потребление ресурсов – это изменение определенных видов ресурсов при данных условиях работы технологического процесса или конкретного устройства.

Под ресурсосбережением понимают комплекс мероприятий, позволяющих снизить расход ресурсов при осуществлении определенной технологической операции или работе устройства в определенном состоянии.

Вводные понятия указывают на необходимость комплексной экономии материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла любого процесса и оборудования: производства, переработки, транспортировки, потребления и утилизации отходов.

Необходимо ввести комплекс показателей ресурсосбережения для определения уровня некоторых понятий. Их обычно делят на две самостоятельные группы: производительность и эффективность [113].

Показатели производительности описывают адаптацию процессов и оборудования для достижения оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и восстановлении качественных характеристик продукции, объема производства и условий эксплуатации. С технической точки зрения показатели эффективности характеризуют технологическую рациональность процессов и долговечность конструктивных решений оборудования. С экономической точки зрения эти показатели описывают такие характеристики, как трудоемкость, материалоемкость и энергоемкость.

Показатели ресурсоэффективности описывают характеристики процессов и оборудования, определяющие ресурсоемкость бизнеса, то есть эффективность потребления ресурсов, необходимых для их непосредственного использования по назначению. К таким показателям относятся, например, удельные энергозатраты, время выполнения технологического процесса, количество отходов сырья и другие.

На рисунке 4.1 показаны некоторые способы экономии ресурсов на разных этапах.

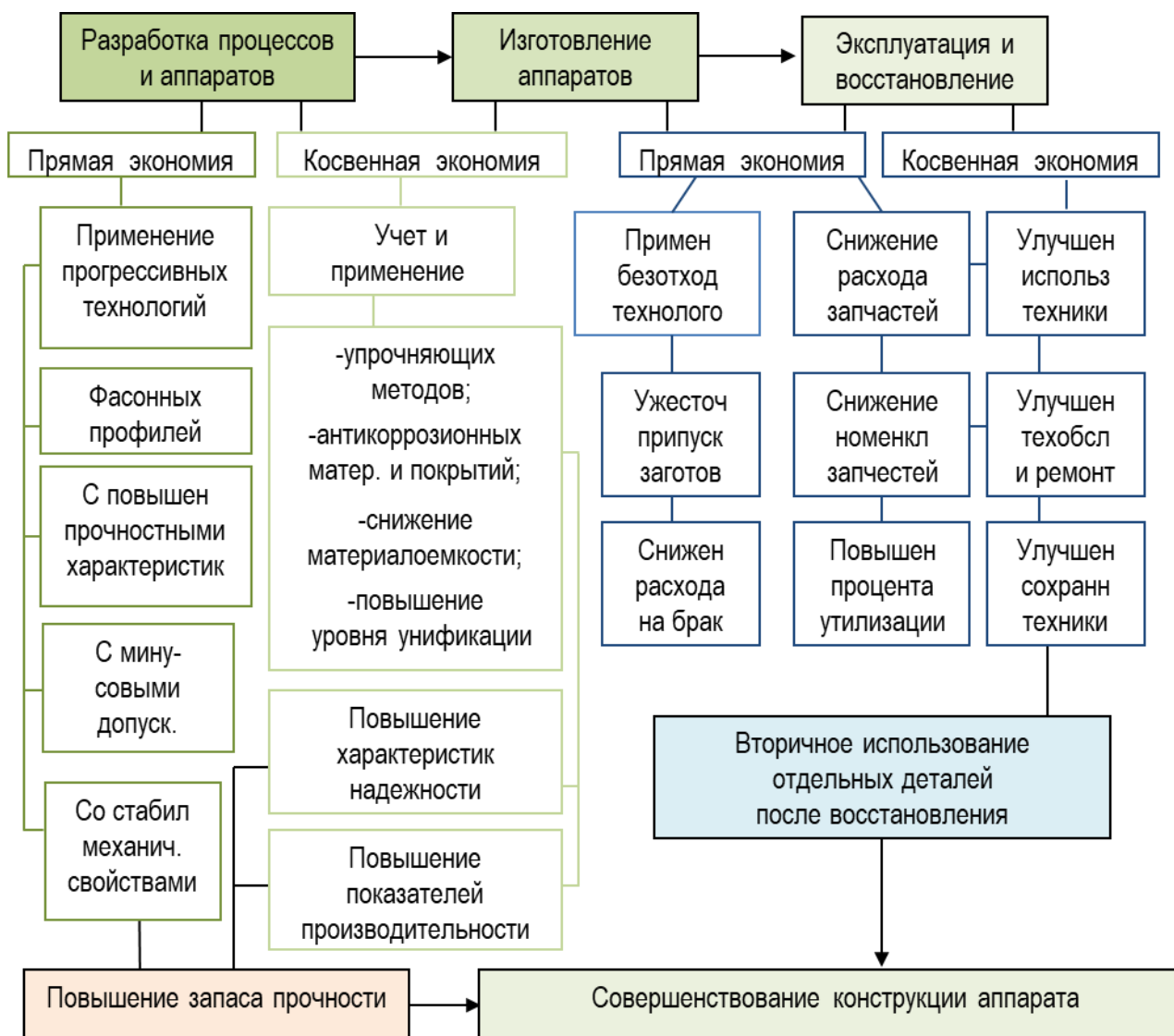


Рисунок 4.1 – Основные направления ресурсосбережения

Усилия по сохранению ресурсов наиболее эффективны, когда они затрагивают почти все аспекты прямой и косвенной экономии строительных материалов, энергии, сырья и затрат на рабочую силу.

На этапе проектирования устройств используются экономичные компоненты с улучшенными и стабильными характеристиками. Эффективность использования материалов оценивается показателем удельного веса в зависимости от полезного эффекта массы изделия или номинального значения основного параметра.

Важную роль в мероприятиях по ресурсосбережению на этом этапе играет косвенная экономия: повышение ресурсных характеристик изделия,

улучшение удельных характеристик машин за счет усовершенствований конструкции, а также улучшение показателей надежности.

Комплекс мероприятий по снижению ресурсоемкости оборудования при производстве и сборке, обычно ограничивающий номенклатуру комплектующих и запасных частей, конструктивные разработки, обеспечивающие возможность использования безотходных технологий.

Одним из основных способов удовлетворения требований, направленных на снижение затрат, связанных с эксплуатацией и обслуживанием оборудования, является технологическая рационализация изделия. Технологическая рациональность конструкции оборудования является динамической характеристикой, которая меняется в зависимости от способов эксплуатации и обслуживания. Такое направление совершенствования регулируется соответствующим подбором и установкой элементов состава и конструкции, узлов, процессов и оборудования и обеспечением их долговечности [113].

В целях снижения ресурсоемкости технической службы такие технические решения применяются в рабочем комплексе при подготовке оборудования к работе путем замены частей изделия на такие же детали, с сохранением заданного качества оборудования, и сокращение затрат в целом при восстановлении геометрических особенностей и качества поверхности деталей.

На этапе разработки, например, необходимо выполнить определенный комплекс задач, чтобы реализовать основные направления ресурсосбережения в оборудовании. Экономический эффект от этих работ показан на рисунке 4.2.

Функциональный анализ и анализ затрат обычно предшествуют разработке проекта в целях увеличения производительности. Задачи функционального стоимостного анализа направлены на снижение стоимости использования оборудования за счет снижения затрат всех ресурсов, необходимых для его надежной работы. Таким образом, анализ

функциональной стоимости направлен на снижение ресурсоемкости оборудования за счет улучшения эксплуатационной структуры.

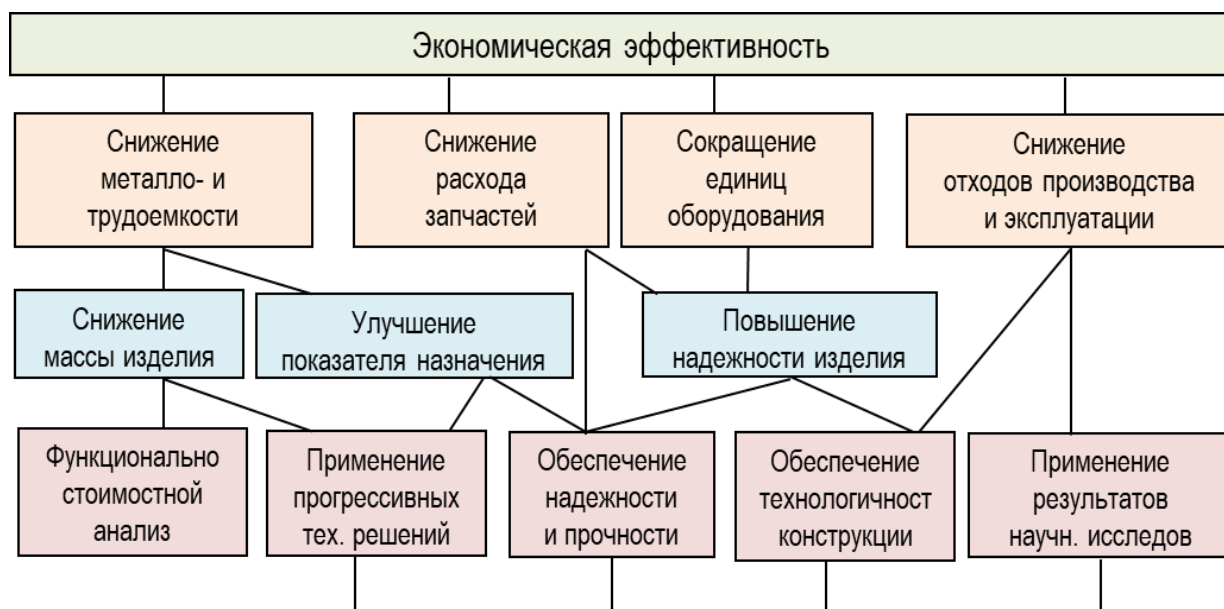


Рисунок 4.2 – Влияние работ стадии разработки оборудования на экономию ресурсов

Объектом анализа является совокупность функций оборудования в целях определения наиболее экономически выгодного варианта конструкции как в производстве, так и в эксплуатации.

При проведении функционального анализа стоимости пищевого оборудования можно руководствоваться следующими соображениями [113].

Используя результаты исследований, предположим, что определенное устройство в процессе переработки уменьшило количество отходов сырья с n_0 до n_1 . Представим, как использование этих результатов влияет на общую эффективность работы устройств [15].

Откорректируем объем перерабатываемого сырья с точки зрения получения «на выходе» одного и того же количества готового продукта A . Для этого можно записать:

$$A = a_0 (l - n_0) = a_1 (l - n_1), \quad (4.1)$$

отсюда следует, что новый объем переработки сырья определится как

$$a_1 = a_0 (l - n_0) / (l - n_1), \quad (4.2)$$

где a_0 – первоначальный объем переработки сырья;

n_0 и n_1 – доля отходов на базовом и усовершенствованном оборудовании соответствующим образом.

Пусть использование новшества привело к увеличению стоимости оборудования с C до $C_1 = A_1 C$.

С учетом этих изменений балансовая стоимость оборудования определится (с затратами на доставку и монтаж) соотношениями $A_2 C$ и $A_2 C_1$ для базового и усовершенствованного образцов оборудования, соответственно [66].

Сопутствующие капитальные вложения в этом случае определяются как

$$K_0 = A_3 A \text{ и } K_1 = A_3 C_1 = A_3 A_1 C. \quad (4.3)$$

В составе эксплуатационных затрат рассмотрим:

амортизационные отчисления;

затраты на текущий ремонт и техобслуживание;

стоимость электроэнергии;

стоимость спецодежды.

Амортизационные отчисления и отчисления на капремонт оборудования составят:

$$A_{m0} = A_4 A_3 C; A_{m1} = A_4 A_3 C_1 = A_4 A_3 A_1 C; K_{p0} = A_5 A_2 C; \\ K_{p1} = A_5 A_2 C_1 = A_5 A_2 A_1 C. \quad (4.4)$$

Затраты на текущий ремонт и техобслуживание определяются величиной амортизационных отчислений и составят:

$$T_{p0} = A_6 A_{m0}; T_{p1} = A_6 A_{m1}. \quad (4.5)$$

Затраты на электроэнергию рассчитывают, исходя из потребляемой мощности, годового времени работы оборудования и стоимости электроэнергии, причем коэффициент загруженности оборудования определяется дневной нормой переработки сырья и производительностью оборудования [113].

Производительность нового оборудования можно определить из следующих соображений. Энергозатраты определяются количеством отделенных при переработке отходов, так как все они вступают в контакт с

рабочими органами. При одинаковой мощности используемых электродвигателей за единицу времени на базовом и новом образцах оборудования должно быть отделено одинаковое количество отходов, следовательно, $P \cdot n_0 = P_1 \cdot n_1$.

Таким образом, для энергозатрат получаем:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{30} &= A_7 (a_0 / P); \\ \mathcal{E}_{31} &= A_7 (a_1 / P_1) = A_7 (a_0 / P)(1 - n_0)n_1 / [(1 - n_1)n_0]. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Заработная плата рабочего, обслуживающего оборудование, с соответствующими начислениями также зависит от фактически отработанного времени, то есть объема переработки сырья и производительности машины:

$$\mathcal{Z}_{п0} = A_8 (a_0 / P); \quad \mathcal{Z}_{п1} = A_8 (a_1 / P_1). \quad (4.7)$$

Аналогичным образом определяются затраты на спецодежду:

$$C_{оо} = A_9(a_0/P) ; C_{о1} = A_9(a_1/P_1). \quad (4.8)$$

Учет показателей надежности, в частности долговечности, произведем введением в анализ коэффициентов реновации, определяющихся, как известно, формулой

$$R = E / [(1 + E)T - 1], \quad (4.9)$$

где E – норматив приведения ($E = 0,1$);

T – срок службы оборудования, лет.

Используя приведенные соотношения, известную формулу для оценки эффективности нового оборудования

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_0 \cdot \frac{B_1(R_0 + E_H)}{B_2(R_1 + E_H)} + \frac{(I_1 - I_2) - E_H(K_2 - K_1)}{R_1 + E_H} - \mathcal{Z}_1 \quad (4.10)$$

можно переписать, с учетом стоимости высвобожденного сырья, в виде

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \frac{\left\{ C(1 - n_0) \left[\frac{E \cdot A}{(1 + E)^T - 1 \cdot P} + E_H \right] - (A_7 + A_8 + A_9) \right\}}{(l - n_1)} + \\ &+ C(1 - A_1)(A_2 A_5 + A_3 A_4 + A_3 A_4 A_6 + A_3 E_H) + \frac{A(A_7 + A_8 + A_9)}{P(l - n_0)n_0} - \\ &- \left[C A_1 - \frac{A_0(n_0 - n_1)}{(l - n_0)(l - n_1)} \right] \left[\frac{E}{(1 + E)^{T m_k} - 1} \right]. \end{aligned} \quad (4.11)$$

Окончательно, в расчете на суточную норму переработанного сырья, выражение для экономической эффективности запишем:

$$ЭК = Э / \left[\frac{E}{(1+E)^{Tm_k-1}} + E_H \right], \quad (4.12)$$

где C – стоимость базового образца оборудования;
 A – объем переработанного сырья «на выходе»;
 P – производительность базового образца;
 T – срок службы базового образца;
 m_k – коэффициент повышения срока службы нового образца;
 n_0 – коэффициент потерь сырья базового образца;
 n_1 – коэффициент потерь сырья нового образца;
 E_H – нормативный коэффициент эффективности капвложений;
 A_0 – стоимость одного килограмма сырья;
 A_1 – коэффициент повышения стоимости нового образца;
 A_2 – коэффициент поправки на доставку и монтаж;
 A_3 – коэффициент сопутствующих капвложений;
 A_4 – коэффициент амортизационных отчислений;
 A_5 – коэффициент отчислений на капитальный ремонт;
 A_6 – коэффициент отчислений на техобслуживание;
 A_7 – коэффициент энергозатрат;
 A_8 – коэффициент заработной платы;
 A_9 – коэффициент затрат на спецодежду.

Анализ полученных зависимостей с численными параметрами, соответствующими базовой и усовершенствованной модели с одновременным изменением параметров ресурса для разных объемов переработки и разных затрат сырья [113].

Результаты расчета показаны на рисунке 4.3.

Анализ этих данных показывает, что изменение количества отходов пищевой промышленности оказывает более существенное влияние, чем

увеличение стоимости перерабатываемого сырья или изменение объемов переработки продукции.

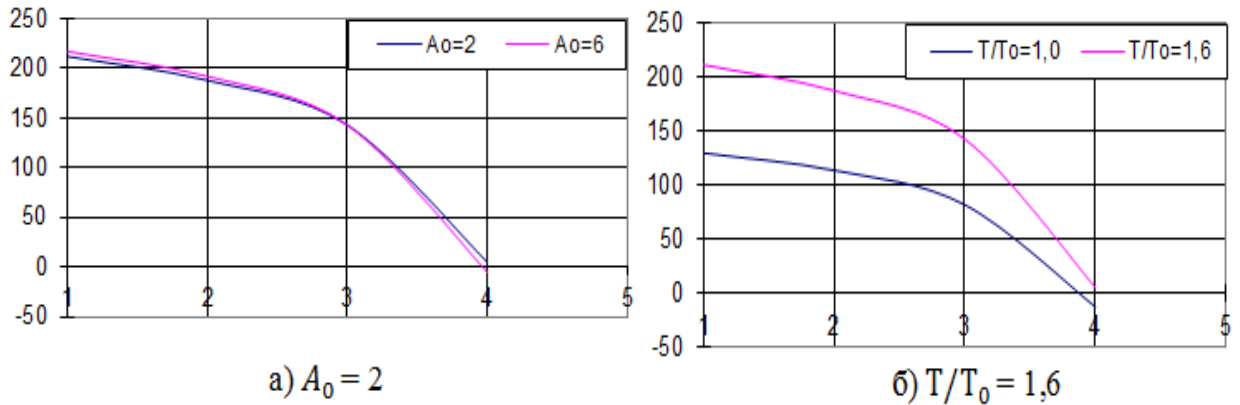


Рисунок 4.3 – Зависимость эффективности работы оборудования от параметров ресурсосбережения (доли отходов 0,2-0,8) для разных: стоимости сырья (A_0) и относительной долговечности (T/T_0)

Расчеты показывают, что при определенных значениях показателя энергосбережения (n) работа устройства бесполезна. Также можно сказать, что эффективность устройства зависит от срока службы.

Полученное соотношение такого типа может быть использовано в качестве основы для анализа функциональных затрат при оценке эффективности некоторых научных исследований, проводимых в виде некоторых технических решений [84].

Вышеизложенное показывает, что особенности ресурсосбережения определяют эффективность работы любого оборудования, в том числе пищевого.

Разумеется, положительным путем снижения этих показателей является использование новых технических решений, созданных на основе научного анализа физико-механических характеристик процесса обработки определенного продукта и конструктивных особенностей используемого оборудования [113].

4.2 Рекомендации по применению устройства автоматизированного контроля компенсации упека при электроконтактной выпечке хлеба

Рассмотрена возможность выпекания хлеба между параллельными пластинами разного напряжения с использованием концепции омического нагрева. Данная технология в настоящее время не получила широкого распространения из-за отсутствия математической модели, привязанной к конкретным условиям производства. Омический или электроконтактный нагрев предлагает альтернативу нагреву материала за счет внутреннего выделения тепла. В исследовании предлагается использовать пасту из жидких частиц, таких как пищевая система, для проведения переменного тока через изделие. Необходимость такого описания проблемы обусловлена производством различных пищевых продуктов, применяемыми в настоящее время методами и технологическим оборудованием, включающим определенные этапы технологического процесса, способствующие появлению меланоидинов. Именно эти изменения в исходных компонентах придают продуктам насыщенный цвет и часто ответственны за их вкус и аромат. Подобные эффекты наблюдаются и в случаях применения пищевых добавок в качестве натуральных красителей и усилителей вкуса. Современные исследования показывают свойства меланоидинов, позволяющие использовать их в качестве антиоксидантов или антимикробных, иммуномодулирующих веществ, а также их способность улавливать радионуклиды. Специалисты, изучающие перечисленные свойства меланоидинов, полагают, что это связано с их внутренней структурой, включающей систему двойных связей в гетероциклических и хиноидных звеньях. В данной работе предложена конструкция электроконтактной пекарни, позволяющая автоматически регулировать температурный режим выпечки и сохранять полезные свойства получаемых

изделий. Рассмотрена рабочая модель таких автоматических регуляторов на основе биметаллических пластин. Получены расчетные соотношения и графики для практического выбора важнейших геометрических размеров для активного и пассивного слоев, выполненных из материалов с коэффициентами линейного расширения $\alpha_1 = 18,0 \times 10^{-6} \text{ м}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$ и $\alpha_2 = 10,0 \times 10^{-6} \text{ м}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$.

Меланоидины, благодаря своим полезным свойствам, находят широкое применение в кулинарии, пищевой химии и медицине. Они могут быть использованы в качестве пробиотиков, заменителей пищевых волокон, улучшающих пищеварение и способствующих росту полезных бактерий, в том числе бифидобактерий. Однако есть некоторые ограничения и трудности при использовании меланоидинов.

Одна из проблем связана с тем, что меланоидины не взаимодействуют с пищеварительными ферментами, что может приводить к ухудшению их всасывания из желудочно-кишечного тракта. Другая проблема связана с возможным образованием токсических веществ, таких как акриламид, при высоких температурах. Это особенно актуально при нагревании продуктов выше 180°С , что может приводить к деградации меланоидинов.

Также имеется проблема, связанная с реакцией Майяра, которая может негативно влиять на биологическую ценность белков. При этой реакции аминокислоты, такие как лизин, треонин, аргинин и метионин, связываются с сахарами и становятся недоступными для пищеварительных ферментов. В результате это может приводить к недостатку этих аминокислот в организме.

Все эти факторы необходимы для учета при производстве и использовании меланоидинов, чтобы минимизировать негативные эффекты и максимизировать их полезные свойства.

Развитие технологии электроконтактной обработки в пищевой промышленности вызвало значительный интерес к применению электрических контакторов. С развитием новых материалов и более

усовершенствованных конструкций для омического нагрева эта технология стала более доступной [1].

Особый интерес к электрическим контакторам возник в связи с широким применением асептической обработки жидких продуктов в машиностроении. В традиционной технологической схеме нагрев начинается с жидкой фазы, а затем тепло передается твердой фазе. Однако с использованием электрического контактного нагрева тепло передается непосредственно через межфазовую границу, что может быть более эффективным и быстрым способом обработки продуктов [11].

Множество исследований различных авторов подтвердило целесообразность использования электрического контактного нагрева при выпечке различных типов хлебобулочных изделий. Эта технология может быть эффективной в достижении желаемого качества и текстуры выпечки, а также сокращении времени приготовления.

Важным фактором для успешной электроконтактной обработки являются электропроводность и температурная зависимость продукта. В случае когда продукт содержит несколько фазовых структур, таких как система жидких частиц, необходимо учитывать свойства каждой фазы и их вклад в процесс нагрева и обработки. Таким образом, электроконтактная обработка с использованием электрических контакторов представляет собой перспективную технологию в пищевой промышленности, способную обеспечить эффективный и быстрый нагрев и обработку продуктов. Электропроводность увеличивается с ростом температуры, что указывает на то, что электрический нагрев становится более эффективным с повышением температуры и, следовательно, может вызвать перегрев. Разница в электропроводности двух фаз и ее зависимость от изменения температуры могут усложнить операцию такого нагрева [7]. Решением этой проблемы может стать возможность регулирования электропроводности под воздействием ионного состава, например путем добавления соли.

Перечисленные свойства электроконтактного нагрева представляют интерес для специалистов пищевой промышленности, особенно хлебопекарной, поскольку позволяют легко контролировать процессы, влияющие на свойства меланоидинов. При выпечке хлеба в пекарных камерах с использованием принципа нагрева тестовых заготовок возникают несколько особенностей. К таким особенностям хлебобулочных изделий относится их появление иногда при смене теста для хлеба, в результате чего нарушается необходимый контакт заготовки с электродами и, как следствие, не допускается тепловой режим хлеба.

Основная цель исследований - создание автоматизированного устройства, обеспечивающего непрерывный контакт тестозаготовки с поверхностями нагрева и обеспечивающего фиксированный стабильный режим выпечки.

Объектом исследования явилась хлебопекарная электрическая камера, оснащенная биметаллической пластиной, выполняющей роль автоматического регулятора (рис. 4.4) [80].

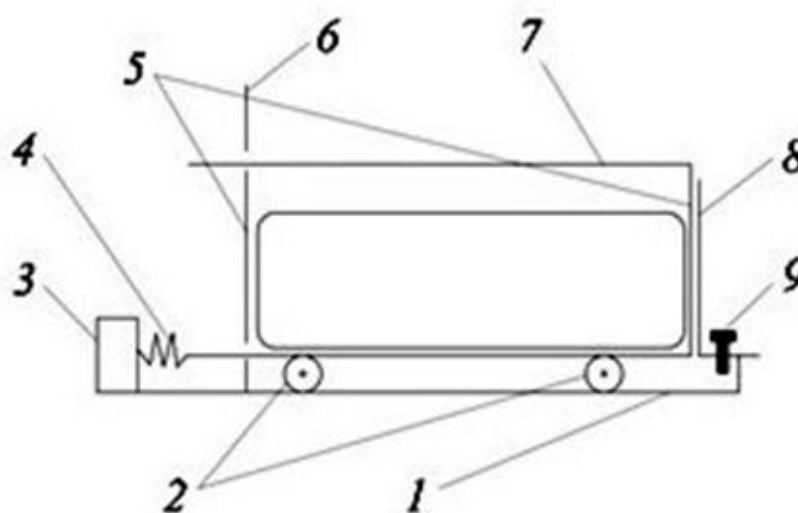


Рисунок 4.4 – Конструкция электроконтактной выпечной камеры:

- 1 – платформа; 2 – подшипниках качения; 3 – фиксатор; 4 – пружина;
- 5 – нагревательные элементы; 6 – боковая стойка; 7 – съемная крышка;
- 8 – пластина; 9 – стопор

Метод исследования заключался в моделировании условий постоянного контакта нагревательного элемента с тестовой заготовкой для обеспечения заданной схемы нагрева.

Предложенная конструкция хлебопекарной электрической печи с биметаллической пластиной в качестве регулятора нагрева позволяет автоматически поддерживать необходимую температуру внутри пекарни. Вот некоторые особенности и преимущества этой конструкции:

1. Автоматическое регулирование: биметаллическая пластина 8, закрепленная на платформе 1 с помощью держателя 9, реагирует на изменения температуры в печи. При нагреве пластина изгибается, давя на заднюю стенку незамкнутого параллелепипеда 7. Это приводит к сжатию пружины 4, находящейся в зажиме-фиксаторе 3, и сокращению зазора между тестовой заготовкой и стенкой печи 6, что обеспечивает более равномерное и эффективное приготовление.

2. Удобство загрузки и извлечения: съемная крышка печи позволяет легко загрузить и извлечь тестовые заготовки, что облегчает процесс выпечки и минимизирует потери времени.

3. Контроль температуры: при подаче напряжения на нагревательные элементы 5 начинается процесс приготовления, и биметаллическая пластина регулирует температуру в печи. При достижении определенного уровня пластина начинает остывать и выпрямляться, что позволяет пекарной камере вернуться в исходное положение.

4. Устойчивая нагревательная система: присутствие роликов и подставки помогает поддерживать правильное положение нагревательных элементов и предотвращать их повреждение во время работы.

5. Энергоэффективность: благодаря автоматическому регулированию температуры и прилагаемых усилий эта конструкция обеспечивает энергоэффективную работу, что позволяет сэкономить электроэнергию.

Теоретически возможности предложенной конструкции можно обосновать следующим образом.

В качестве модели воздействия на регулирующий орган изучим нагрев биметаллической пластины. Мысленно вырежем из такой пластины бесконечно малый элемент dx по всей ширине b (рис. 4.5).

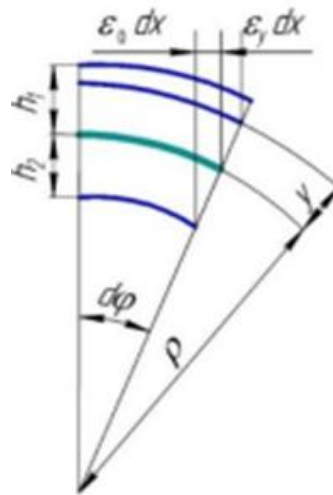


Рисунок 4.5 – Нагрузки, действующие на расчетный элементарный участок

Пусть есть два неспаянных слоя с разной толщиной, обозначим их как h_2 и h_1 . Кроме того, у этих слоев разные коэффициенты линейного расширения, обозначим их как α_1 и α_2 , где $\alpha_1 > \alpha_2$. При нагреве этих слоев они будут независимо удлиняться, вызывая относительные деформации ε_1 и ε_2 :

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 dx &= \Delta t \cdot \alpha_1 dx; \\ \varepsilon_2 dx &= \Delta t \cdot \alpha_2 dx.\end{aligned}\quad (4.13)$$

Если учитывать гипотезу плоских сечений при совместной нагрузке спаянных слоев, концевые сечения элемента подвергаются искривлению, в результате чего волокна, расположенные на расстоянии от спая металлов, изменяют свою ориентацию. При искривлении концевых сечений соотношение между углом искривления $d\varphi$ и расстояниями находится в следующей зависимости

$$\varepsilon_y dx = \varepsilon_0 dx + y d\varphi, \quad (4.14)$$

где ε_0 – относительное удлинение поверхности спая, при этом относительная деформация этого слоя

$$\varepsilon_y = \varepsilon_0 + y \frac{d\varphi}{dx}. \quad (4.15)$$

Исходя из рисунка 4.7 $\rho d\varphi = dx(1 + \varepsilon_3)$, принимая $\varepsilon_0 \ll 1$, найдем кривизну пластины при температуре t :

$$\kappa_t = \frac{d\varphi}{dx} = \frac{1}{\rho} . \quad (4.16)$$

При этом

$$\varepsilon_y = \varepsilon_0 + y\kappa_t, \quad (4.17)$$

где кривизна из решения уравнений равновесия определяется следующим выражением:

$$\kappa_1 = \frac{6(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta t}{\frac{(E_1 h_1^2 - E_2 h_2^2)^2}{E_1 E_2 h_1 h_2 (h_1 + h_2)} + 4(h_1 + h_2)}. \quad (4.18)$$

Изотермическое перемещение сечений пластины определяется при помощи интеграла Мора

$$f = \int_1 \frac{M_p M_1}{EJ} dl, \quad (4.19)$$

где M_p – момент в текущем сечении; $\frac{M_p}{EJ} = \frac{1}{\rho} = \kappa_{t \max}$ – кривизна изогнутой пластины; M_1 – момент действующей силы, равный $M_1 = 1 \cdot z$, где $0 \leq z \leq l$.

Для прямой консольно закрепленной пластины (рис. 4.6) прогиб свободного конца согласно полученному решению равен

$$f = \frac{3(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta t}{2h} l^2, \quad (4.20)$$

а угол поворота концевого сечения при единичном моменте $M_1 = 1$ будет описываться формулой

$$\varphi = \frac{3(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta t}{2h} \int_0^1 M_1 dl = \frac{3(\alpha_1 - \alpha_2)l\Delta t}{2h} . \quad (4.21)$$

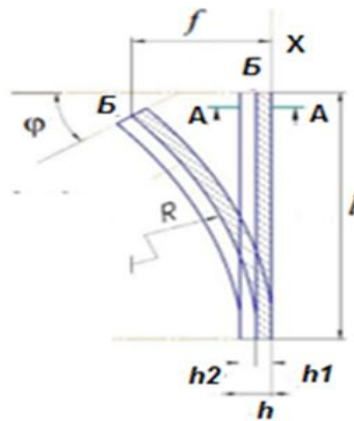


Рисунок 4.6 – Перемещение конца двухслойной пластины

Примем, что кривизна изогнутой пластины в первом приближении соответствует силе сопротивления, приложенной к концу биметаллической пластины, подвергаемой нагреву, со стороны перемещаемой тестозаготовки.

Предположим также, что эта сила сопротивления обусловлена весом P выпекаемой заготовки в предложенной электрической печи.

Регулируя в этом случае тепловой режим [7] эксплуатации предложенной печи, можно обеспечить компенсацию упека тестозаготовок при выпечке в ней хлебозаготовок практически любых типоразмеров за счет их перемещения изгибающейся биметаллической пластиной.

Полученное соотношение для угла поворота концевой сечению полезно при выборе конструктивных элементов и материалов для изготовления отдельных деталей выпечной камеры.

С помощью полученного соотношения для известных конструктивных размеров длины l пластины δ в описанной конструкции электроконтактной выпечной камеры и известными материалами, из которых ее предполагается изготовить, например бронза с $\alpha_1 = 18,0 \times 10^{-6}$ м/(м °С) и сталь с $\alpha_2 = 10,0 \times 10^{-6}$ м/(м °С), для определенного режима разогрева камеры Δt можно определить толщину такой пластины. Эту оценку легко сделать, например, по графической зависимости, представленной на рисунках 4.7 и 4.8.

В случае реальной конструкции описываемой электроконтактной хлебопекарни возникает вопрос о выборе толкателя – биметаллической пластины, особенности толщины активного (латунь) и пассивного (сталь) слоев.

Для того чтобы проанализировать влияние толщины активного слоя биметаллической пластины на угол поворота, были проведены графические зависимости (представлены на рисунке 4.8). При этом была фиксирована толщина пассивного слоя равной 1 мм.

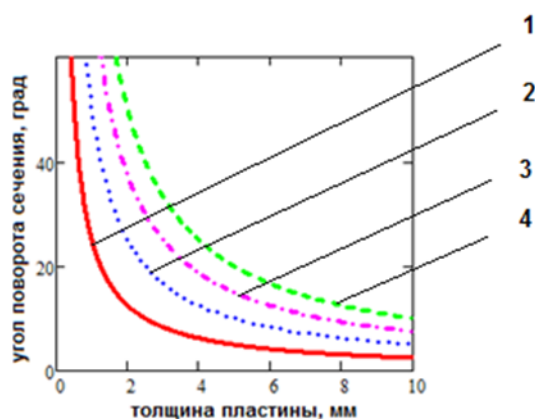


Рисунок 4.7 – Результаты оценки угла поворота сечения ($l = 10$ мм):
 1 – $\Delta t = 70^\circ\text{C}$; 2 – $\Delta t = 80^\circ\text{C}$; 3 – $\Delta t = 90^\circ\text{C}$; 4 – $\Delta t = 100^\circ\text{C}$

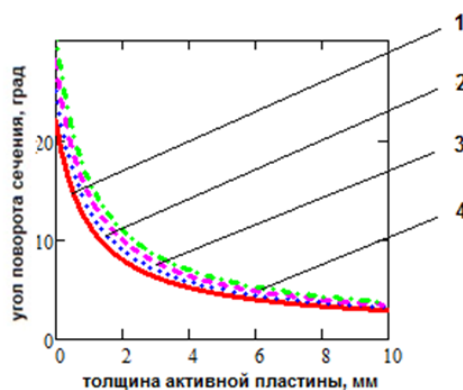


Рисунок 4.8 – Результаты оценки угла поворота сечения для фиксированной пассивной толщины пластины 1 мм ($l = 10$ мм):
 1 – $\Delta t = 70^\circ\text{C}$; 2 – $\Delta t = 80^\circ\text{C}$; 3 – $\Delta t = 90^\circ\text{C}$; 4 – $\Delta t = 100^\circ\text{C}$

Из полученных результатов можно сделать вывод, что более равномерная толщина слоя (когда активный и пассивный слои имеют одинаковую толщину) создает более эффективную работу толкателя и обеспечивает постоянство его деформаций.

Такой вариант конструкции биметаллической пластины в электроконтактной печи позволяет достичь более стабильных характеристик выпекаемого хлеба. Это означает, что при равномерной толщине слоя пластины будут более точно управляться параметры нагрева, что в конечном итоге может привести к улучшению качества выпечки.

Графический анализ зависимости угла поворота от толщины активного слоя позволяет оценить оптимальное соотношение толщин активного и

пассивного слоев для оптимизации работы толкателя и обеспечения стабильности процесса выпечки.

Обеспечение автоматического регулирования теплового режима без необходимости дополнительного контроля работниками плотности контакта на поверхности нагрева частиц теста позволит повысить экономическую эффективность предлагаемого хлебопекарного предприятия и качество выпекаемых изделий.

Моделирование условий непрерывного контакта поверхности нагрева с тестовой заготовкой для обеспечения режима нагрева позволило предложить биметаллическую пластину, выполняющую роль автоматического регулятора. Анализ полученных аналитических зависимостей позволяет предложить графическую зависимость угла поворота секции в сочетании с пассивной толщиной пластины, временем и температурой выпечки в зависимости от указанных режимов, необходимых секций для оптимальных условий образования меланоидов.

4.3 Рекомендации по формированию и итоговые результаты технико-экономического анализа эффективности выполненных разработок

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 энергии физических полей (ультразвукового, при электроконтактном подводе теплоты и инфракрасном излучении) способствуют производству бескоркового хлеба с высокими показателями качества.

Для расчета интегрального технико-экономического эффекта применялся метод взвешенной суммы частных показателей эффективности. Важным этапом этого расчета являлось определение весовых коэффициентов

для каждого частного показателя эффективности. Для получения весовых коэффициентов использовался метод парных сравнений с привлечением экспертных оценок. Для сравнения частных показателей эффективности построена матрица (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Матрица сравнения частных показателей

		Частные показатели									α_i
		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	
Частные показатели	K_1		2	2	1	1	1	1	1	1	0,14
	K_2	0		2	1	1	0	2	2	1	0,12
	K_3	0	0		0	1	2	0	0	0	0,04
	K_4	1	1	2		2	2	1	1	1	0,15
	K_5	1	1	1	0		1	0	0	0	0,06
	K_6	1	2	0	0	1		0	0	0	0,06
	K_7	1	0	2	1	2	2		1	1	0,14
	K_8	1	0	2	1	2	2	1		1	0,14
	K_9	1	1	2	1	2	2	1	1		0,15

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} = 72; \sum_{j=1}^n \beta \alpha_i = 1,00. \quad (4.22)$$

На основании экспериментальных оценок элементам матрицы β_{ij} присвоены значения, указанные в соотношении и внесенные в таблицу 4.1. Значения весовых коэффициентов частных показателей эффективности рассчитывались и записывались в таблицу 4.1.

Нормирование значений частных показателей технико-экономической эффективности определялось исходя из сравнения их конкретных значений с предельно допустимыми или эталонными значениями $K_i^{\text{дир}}$.

Особого пояснения требует порядок расчета затрат на изготовление и обслуживание оборудования. Поскольку устройство еще не произведено, стоимость производства возможно оценить на основе известных цен производства аналогичных устройств, входящих в комплект для оценки качества пищевых продуктов. Чтобы учесть разницу в конструктивных параметрах аналогов, рекомендуется использовать значения коэффициентов приведения значений.

С учетом этого стоимость производства устройства рассчитывается по зависимости

$$C_{\text{пр ТО}} = C_{\text{ан}} \prod_{i=1}^n \left(\frac{X_{i \text{ТО}}}{X_{i \text{ан}}} \right)^{b_i} . \quad (4.23)$$

Значение коэффициента торможения цены определялось на основе подбора двух аналогов для устройства с таким расчетом, чтобы устройства по отличающимся параметрам занимало промежуточное место между ними. Коэффициент торможения цены b_i рассчитывался по зависимости (4.23).

Затраты на хранение устройства рассчитывались зависимости (4.24)

$$C_{\text{хр ТО}} = \sum_{t=1}^n \frac{Z_t}{(1+t)^t} . \quad (4.24)$$

Значения частных нормированных показателей технико-экономической эффективности оборудования для производства бескоркового хлеба, входящих в комплект конвейерной хлебопекарной печи, приведены в таблице 4.1. Результаты расчета технико-экономической эффективности для существующих образцов хлебопекарных печей по полученной регрессионной зависимости показали, что она эффективнее известных аналогов на 9 – 18 %.

В таблицах 4.2 и 4.3 представлены результаты расчетов технико-экономической эффективности разработанных в исследовании технических решений.

Таблица 4.2 – Значение частных нормированных показателей экономической эффективности K_1^H

Тип лаборатории	Значение частных показателей									Обобщенный показатель
	K_1^H	K_2^H	K_3^H	K_4^H	K_5^H	K_6^H	K_7^H	K_8^H	K_9^H	
Электрическая хлебопекарная печь	0,6	0,8	1	0,9	0,7	0,7	1,5	0,7	0,75	0,8
Электроконтактная хлебопекарная печь	0,7	0,8	1	0,9	0,8	0,7	1,5	0,7	0,75	0,8
Конвейерная хлебопекарная печь	0,9	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	1	0,87

Таблица 4.3 – Результаты оценки экономической эффективности технических решений модификации аппаратов для производства хлеба функционального назначения

Наименование технических решений	Военно-экономическая эффективность		Эффективность	
	Предлагаемый образец, K_o	Аналог, K_o	Предлагаемый образец, K_o	Аналог, K_o
Конвейерная хлебопекарная печь	0,87	0,67	0,83	0,75
Рамная мешалка	0,88	0,76	0,88	0,73

Результаты экспериментальных исследований показали, что предложенные технические решения обеспечивают повышение эффективности производства хлеба, соответствующего профилактическому назначению. Применение физических методов комплексного воздействия (ультразвуковой кавитации, электроконтактного прогрева, инфракрасного излучения) на тестозаготовку улучшает органолептические показатели хлеба на 12-16 %, повышает пищевую ценность на 9-12 %, снижает продолжительность приготовления продуктов функционального питания в 1,2-5 раз и энерго- и трудозатраты на 9-17 %; меланоидинообразования и образование канцерогенов, расширение ассортимента хлебобулочных изделий, что позволяет приготовить требуемые по качеству продукты для функционального питания (рисунок 4.9).

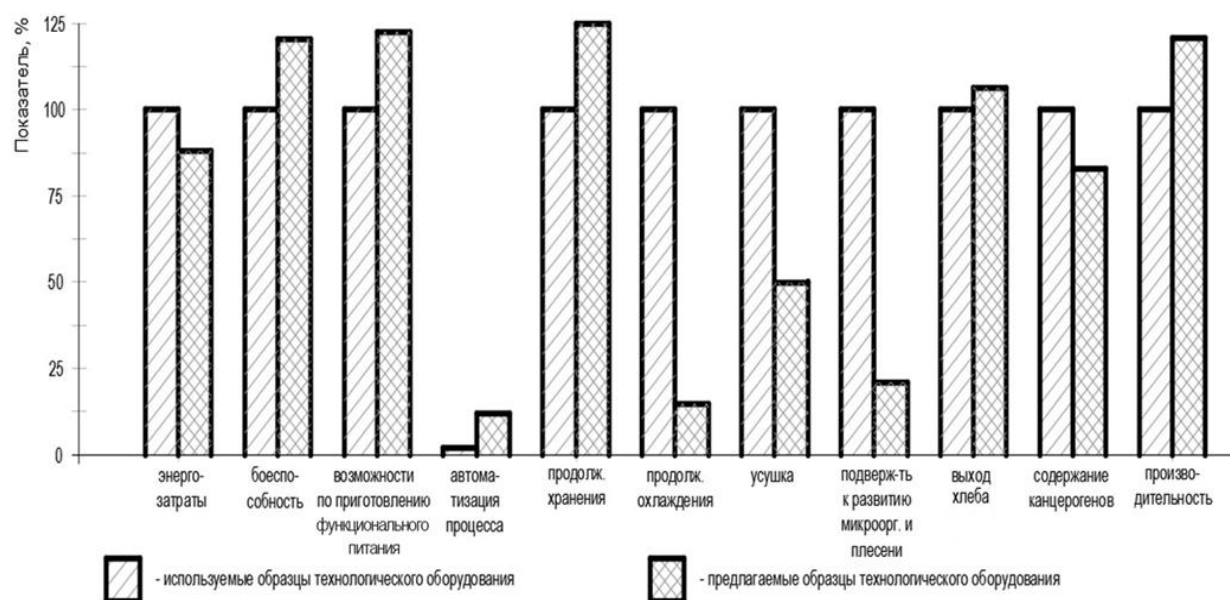


Рисунок 4.9 – Техничко-экономическая эффективность от реализации предложенных технических и технологических решений

Результаты оценки предложенного в исследовании технологического оборудования производства бескоркового хлеба представлены на рисунке 4.10.

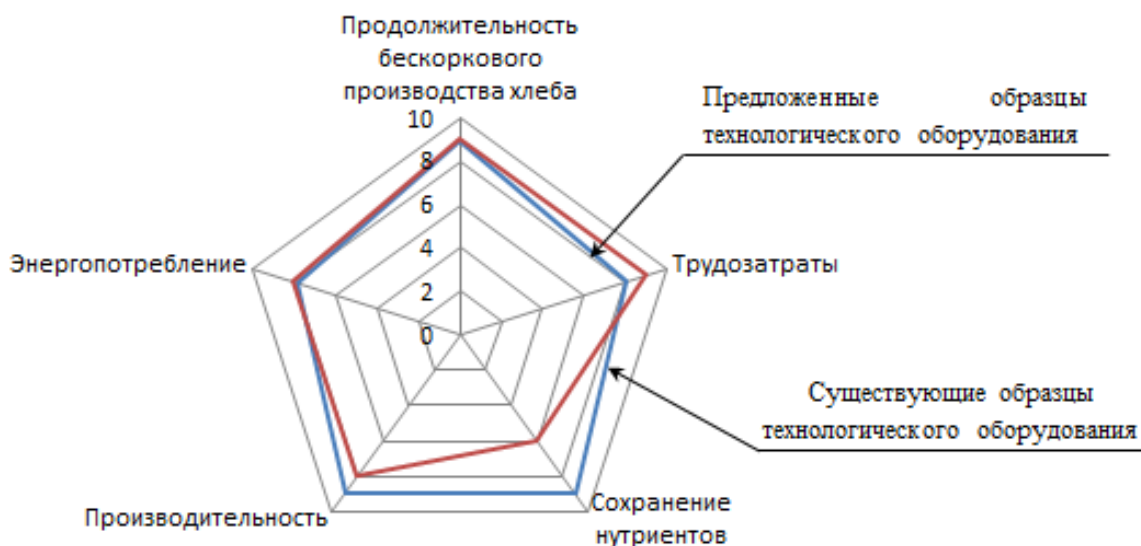


Рисунок 4.10 – Оценка возможностей технологического оборудования производства хлеба

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.

Выводы по главе

1. Установлено, что характер экспериментально полученной зависимости адекватен аналогичной расчетно-теоретической закономерности. В процессе выпечки бескоркового хлеба с использованием комплексного воздействия полей происходит быстрая тепловая обработка, которая завершается в течение 360 секунд. Наиболее интенсивная стадия происходит на второй стадии процесса, когда плотность водяных паров все еще значительная и массовая скорость испарения влаги достаточно высока.

2. Затраты на производство и хранение продуктов функционального питания, являющиеся частными показателями эффективности, рассчитывались с применением аналогового подхода. При этом в целях точности расчетов осуществлялась статистическая обработка показателей работы аналогов и определялось необходимое количество элементов в

выборке по каждому эксплуатационному показателю. Результаты экономической оценки предложенных в диссертации технических решений показали, что они эффективнее существующих разработок на 9–21 % за счет использования инновационных решений.

3. Разработаны практические рекомендации по внедрению научных результатов совершенствования технологического оборудования и технологических процессов в лечебных учреждениях трудовых коллективов, проживающих в обособленных условиях.

4. Предложенные направления дальнейших исследований в области совершенствования технического оснащения лечебных учреждений и обеспечения их необходимыми современными образцами медоборудования послужат совершенствованию профилактики пациентов и их скорейшему восстановлению.

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. Процесс производства продуктов питания функционального назначения должен обеспечивать интенсификацию производства выпуска готовой продукции, с сохранением пищевой ценности исходных компонентов и возможность корректировки ее в конечном продукте. Значительную роль в рационе питания потребителей по объёму продукта и содержанию нутриентов занимает хлеб. Процессы его производства позволяют корректировать пищевую ценность;

оценена возможность корректировки рецептур, процессов и технологического оборудования для приготовления продуктов функционального питания травмированных и заболевших людей в условиях обособленного проживания, а также проанализированы методы разработки и совершенствования этих средств в целях повышения их универсальности и повышения эксплуатационных свойств. 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 специализированный продукт функционального питания с

установленным химическим составом, энергетической ценностью и физическими свойствами, оказывающими специфическое 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. Применение математического моделирования процессов тепловой обработки продуктов питания обеспечило разработку конструкции с заданными параметрами удельного расхода теплоты, мощности, металлоёмкости, а также продолжительности термической обработки продуктов функционального питания; разработана методика расчета рамной мешалки, обеспечивающая повышение степени унификации основных элементов конструкции и тем самым решающая задачу упрощения конструкции аппарата;

результаты экспериментальных исследований показали, что предложенные технические решения обеспечивают интенсификацию производства продуктов питания соответствующих требуемым характеристикам качества продуктов функционального питания за счет сохранения в готовых изделиях нутриентов и снижения канцерогенов;

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;

разработаны практические рекомендации по внедрению научных результатов совершенствования технологического оборудования и технологических процессов приготовления функционального питания для трудовых коллективов, проживающих в обособленных условиях.

Предложенные 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.

результаты исследования реализованы в научной деятельности общеобразовательной организации и предприятиях экономического комплекса страны и нашли отражение в научных публикациях (приложение А).

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ИК-выпечка – инфракрасная выпечка;

СВЧ – сверхвысокие частоты;

ТТХ – тактико-технические характеристики;

ЭК-выпечка – электроконтактная выпечка

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Аппарат: устройство, в котором обычно протекает технологический процесс;

массообменные (диффузионные) процессы: характеризуются переносом одного или нескольких компонентов исходной смеси из одной фазы в другую через поверхность их раздела. К этой группе процессов, описываемых законами массопередачи, относятся абсорбция, перегонка (ректификация), экстракция из растворов, кристаллизация, адсорбция и сушка;

механические процессы: описываются законами механики твердых тел. Они применяются в основном для подготовки исходных твердых материалов и обработки конечных твердых продуктов, а также для транспортирования кусковых и сыпучих материалов. К механическим процессам относятся измельчение, транспортирование, сортировка (классификация), дозирование и смешение твердых веществ;

показатель качества (продукции): количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, входящих в её качество, рассматриваемая применительно к определённым условиям её создания и эксплуатации или потребления;

процессы и аппараты пищевых производств: совокупность научных и инженерных знаний, которая позволяет создавать новые и совершенствовать действующие технологии и оборудование для производства пищевых продуктов;

процесс: ход, развитие какого-нибудь явления, последовательная смена состояний в развитии чего-нибудь;

тепловые процессы: протекающие со скоростью, определяемой законами теплопередачи - науки о способах распространения тепла. Такими

процессами являются нагревание, охлаждение, выпаривание и конденсация паров;

функциональный пищевой продукт: пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в его составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов;

обогащенный пищевой продукт: функциональный пищевой продукт, получаемый добавлением одного или нескольких физиологически функциональных пищевых ингредиентов к традиционным пищевым продуктам в целях предотвращения возникновения или исправления имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ;

физиологически функциональный пищевой ингредиент: вещество или комплекс веществ животного, растительного, микробиологического, минерального происхождения или идентичные натуральным, а также живые микроорганизмы, входящие в состав функционального пищевого продукта, обладающие способностью оказывать благоприятный эффект на одну или несколько физиологических функций, процессы обмена веществ в организме человека при систематическом употреблении в количествах, составляющих от 10 % до 50 % от суточной физиологической потребности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство СССР N 997772, кл. В 01F 7/04, 1983;
2. Авторское свидетельство СССР N 1327944, кл. В 01F 7/16, 1987;
3. Авторское свидетельство СССР N 1308371, кл. В 01F 7/16, 1987;
4. Авторское свидетельство СССР N 1542601, кл. В 01F 7/18, 1990.
5. Абушинов Э.В., Абдурахманов Э.Ф. и др. «Конвейерная электроконтактная печь» патент на полезную модель № 205504, опубл. 16.07.2021, Бюл. № 20.
6. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский // М.: Наука 1976. 280 с.
7. Алексеев Г.В. Научные основы создания ресурсосберегающих процессов и аппаратов абразивной переработки пищевого сырья: диссертация ... доктора технических наук : 05.18.12. – СПб.: 2002. – 387 с.
8. Алексеев Г.В., Даниленко Е.А. Гидродинамическая модель измельчения кальцийсодержащих пищевых добавок /Г.В. Алексеев, Е.А. Даниленко // Процессы и аппараты пищевых производств, № 2. 2010. – С. 97-102.
9. Алексеев Г.В., Кондратов А.В., Верболоз Е.И. Модель кавитационного разрушения пищевого сырья / Г.В. Алексеев, А.В. Кондратов, Е.И. Верболоз // Хранение и переработка сельхозсырья, №11. 2007. – С. 56–59.
10. Андриянов А. И. Медико-биологическая характеристика современных технологий длительного хранения продуктов питания и блюд, используемых в организованных коллективах / А.И. Андриянов [и др.] // Врач-аспирант. – 2011. – № 5. (48). – С. 403–409.
11. Антуфьев В.Т., Андреев А.Н., Горшков Ю.Г., Русакевич О.Н. Инновационные аспекты разработки ресурсосберегающего процесса выпечки

хлебобулочных изделий в поле действия ультразвука // Процессы и аппараты пищевых производств. 2009. № 1. – С. 45–51.

12. Арет В.А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции [Текст] / В.А. Арет, Б.Л. Николаев, Л.К. Николаев. – СПб.: ГИОРД, 2009. – 448 с.

13. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства: / Л.Я. Ауэрман. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 415 с.

14. Барышников А.Н., Володарский А.В., Михелев А.А. О прогреве тестовых заготовок в процессе выпечки// Хлебопекарная и кондитерская промышленность № 5, 1972. – С. 8-10.

15. Благовещенская М.М. Разработка и исследование метода автоматического измерения качества хлебопекарного теста : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.07. – М.: 1975. - 175 с.

16. Благовещенская М.М., Петров И.К., Мачихин С.А. Влияние температуры на реологические свойства теста различной влажности. – Известия вузов. Пищевая технология, 1974, № 5. – С. 48-50

17. Беляева М.А. Многокритериальная оптимизация тепловой обработки мясных полуфабрикатов с использованием современных электрофизических методов нагрева//монография. – М. 2016. – С. 158–242.

18. Верболоз Е.И. Научное обоснование ресурсосберегающих механических и гидродинамических процессов и аппаратов для производства рыбной продукции : дис. ... доктора технических наук : 05.18.12 / С.-Петербург. гос. ун-т низкотемператур. и пищевых технологий. – СПб.: 2006. - 265 с.

19. Владимиров Ю.А., Рощупкин Д.И. Действие УФ-излучения на мембранные структуры клеток // Биологическое действие ультрафиолетового излучения. М.: Наука, 1975. – С. 31-39.

20. Володарский А.В., Хряпа В.М. и др. Математический эксперимент и оптимальная конструкция хлебопекарной печи / Журнал Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1997, №1. – С. 30-32.

21. Воробьев В.И., Казимирченко О.В., Нижникова Е.В. Химические и микробиологические показатели кожи и чешуи рыб при переработке и получении новой пищевой продукции / В.И. Воробьев, О.В. Казимирченко, Е.В. Нижникова // Известия КГТУ. 2022. № 64. С. 81-94.

22. Вороненко Б.А. и др. Анализ характера особенностей тепломассообмена в дискретной насыпи пищевого продукта /Э.В. Абушинов, Б.А. Вороненко, А.Г. Леу, И.П. Юхник // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб науч. ст VII Международной научно-технической конференции. 2020. – С. 713-716.

23. Гинзбург, А.С. Современные конструкции хлебопекарных печей / А.С. Гинзбург. – М.: Пищепромиздат, 1958. – С. 40–45.

24. Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.

25. Гинзбург А.С., Сыроедов В.И, Скверчак В.Д., Плаксин Ю.М. и др. Актуальные вопросы теории и практики выпечки /Обзорная информация. – М.: ЦНИИТЭИ Пищепром, 1999, 29 с.

26. Глушанова Н.А., Шендеров Б.А.. Взаимоотношения пробиотических и индигенных лактобацилл хозяина в условиях совместного культивирования *in vitro*// Журнал. Микробиол. 1005. № 2, – С.75-79.

27. Головкина Н. А. Применение ультрафиолетовых лучей в пищевой промышленности. - Л.: 1958. - 173 с.

28. Голубев В.Н., Жиганов И.Н. Пищевая биотехнология, М.:- ДеЛи принт. 2001. – С. 72-73.

29. Государственная программа Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» (утв. постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 328 (с изменениями утвержденными постановлением Правительства РФ от 31.03.2017 г. № 328-13)).

30. ГОСТ 12.1.007-76 Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. 1976. - 46 с.

31. ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М.: Изд-во стандартов, – 2003. – С. 39-43.
32. ГОСТ Р 52349-2005 Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, – 2006. –30 с.
33. ГОСТ Р 55577-2013. Продукты пищевые специализированные и функциональные информация об отличительных признаках и эффективности. – М.: Изд-во стандартов, – 2013. –28 с.
34. Грачев Ю.П., Плаксин Ю.Н. Математические методы планирования эксперимента. – М.: ДеЛи принт, 2005.
35. Груданов В.Я., Бренч А.А. Моделирование и оптимизация процессов переработки сельскохозяйственной продукции. монография – Минск: БГАТУ, 2017. – 280 с.
36. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20.
37. Доронин А.Ф., Шендеров Б.А. Функциональное питание. 2002, Изд-во «ГрантЪ», 295 с.
38. Ермошин Н.А., Романчиков С.А. Методологические аспекты научного обоснования технических решений модификации технических средств и технологического оборудования продовольственной службы /Н.А. Ермошин, С.А. Романчиков// Ползуновский вестник. 2020. № 2. – С. 100-106.
39. Ермошин Н.А., Романчиков С.А. Совершенствование производства хлебопродуктов для группировок войск (сил) в особых условиях / Н.А. Ермошин, С.А. Романчиков // Военная мысль. 2018. № 3. – С. 19-26.
40. Зорин В.М., Клименко А.В., Зорина В.М., Клименко А.В. Теплоэнергетика и теплотехника: М. – Издательство МЭИ, 2001 г. ISBN: 5-7046-0512-5, 5-7046-0515-X.
41. Изтелеу Б.М., Азимбаева Г.Н., Кудайбергенова Г.Н., Бутин Б.М. Исследование и идентификация пектиновых веществ выделенных из клубней топинамбура // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 3-2. – С. 269-274.

42. Иванова М.А. Разработка ресурсосберегающего процесса выпечки мелкоштучных булочных изделий с наложением поля ультразвука кандидат технических наук СПб.: 2012. – 168 с.

43. Источники инфракрасного излучения (электронагреватели второго типа [Электронный ресурс] https://vuzlit.ru/2273842/istochniki_infrakrasnogo_izlucheniya_elektronagrevateli_vtorogo_tipa).

44. Камалова М.Б. Совершенствование процесса выпечки узбекских лепешек с использованием ИК энергоподвода / М.Б. Камалова [и др.] // Тез. докл. 6 всес. науч.-техн. конф. «Электрофиз. Методы обработки пищ. продуктов и с.-х. сырья». – М., 1989. – С. 165–166.

45. Ключкин В.В., Пахоменкова Т.П. Об интенсификации процесса экстрагирования применительно к пористым материалам при наложении пульсаций. Журнал Пищевая химия № 4. 1984. – С. 846-849.

46. Ключкин В.В., Пахоменкова Т.П., Михайлова Т.Н. О влиянии гармонического изменения перепада давления на характер движения жидкой фазы в массообменных аппаратах. Журнал Пищевая химия № 4.1984. – С. 841-845.

47. Кондратов А.В. Совершенствование процесса и аппарата с использованием кавитационного эффекта для измельчения комбинированных рыбопродуктов : дисс.... кандидата технических наук : 05.18.12. - СПб, 2008. - 152 с.

48. Косой В.Д. Инженерная реология биотехнологических сред [Текст] / В.Д. Косой, Я.И. Виноградов, А.Д. Малышев. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 648 с.

49. Королев Д.Н., Хмелева Е.В., Пенькова Ю.В. Разработка технологии пшеничного хлеба с использованием полбяной муки / Д.Н. Королев, Е.В. Хмелева, Ю.В. Пенькова // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. – 2019. Т. 26. – С. 57–64.

50. Кравчук Е.П. Влияние ультрафиолетового облучения на антибактериальные свойства молока. Труды ВНИИВС. -М., 1968, т. 30. – С. 134-139.

51. Краснова М.С. Электроконтактная выпечка хлеба как объект автоматизации / М.С. Краснова [и др.] // Вестник ОГУ. – 2013. – № 1 (150). – С. 187–194.

52. Краснова М.С., Попов В.П., Сидоренко Г.А., Ханина Т.В. Необходимость и возможность автоматизации электроконтактной выпечки хлеба / М.С. Краснова, В.П. Попов, Г.А. Сидоренко, Т.В. Ханина // Роль прикладной биотехнологии и инженерии в развитии инновационного потенциала региона – С. 994-1000.

53. Краснопевцев Н.И. Основные вопросы расчета и конструирования печей // Хлебопекарная промышленность. – 1996. № 10. – С. 7-19.

54. Краснопевцев Н.И. Основные положения при анализе и проектировании хлебопекарных печей // Хлебопекарная промышленность – 1995. № 6. – С. 9-13.

55. Кретович В.Л. Проблемы пищевой полноценности хлеба / В.Л. Кретович, Р.Р. Токарева. – М.: Наука, 1978. – 250 с.

56. Кулишов Б.А., Рудометова Н.В., Федоров А.В., Новоселов А.Г. Проблема стабильности бета-каротина в пищевых продуктах // IX Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 13-15 ноября 2019г.): материалы конференции - 2019. - Т. II. - С. 131-134.

57. Кулишов Б.А. Исследование процесса электроконтактного нагрева при производстве хлеба и совершенствование аппарата для его осуществления: дисс.... канд. техн. наук: 05.18.12. СПб.: 2021. – 307 с.

58. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учеб. Для вузов. – 7-изд., испр. - М.: Дрофа, 2003. – 840 с.

59. Магомедов Г.О., Пономарева Е.И. Научные и практические основы технологии сбивных функциональных хлебобулочных изделий. Воронеж: ВГТА, 2010. – 241 с.

60. Магомедов Г.О., Пономарева Е.И., Рыжов В.В. Влияние формы месильной лопасти на энергетические характеристики сбивания и качество бездрожжевого полуфабриката // Хлебопродукты. – 2011. – № 10. – С. 48-49.

61. Магомедов Г.О., Чешинский В.Л., Труфанова Ю.Н., Исаев В.А. Конструктивные и технологические приемы интенсификации замеса теста и повышения качества хлеба // Вестник ВГУИТ. – 2019. – Т. 81. № 1. – С. 232-237.

62. Малахов Н.Н. Конвективное и вакуумно-испарительное охлаждение пищевых продуктов /Н.Н. Малахов, Н.Б. Горбачев, Т.В. Галаган, С.И. Меркушев // Краснодар: Известия вузов. Пищевая технология №1, 2003 г. – С. 89 – 90.

63. Малахов Л.Н., Дьяченко С.В. Совершенствование основного технологического оборудования мини-пекарен. - М.: Пищевая промышленность. – 2000. – № 3. – С.60-61.

64. Малахов Л.Н., Дьяченко С.В. Совершенствование основного технологического оборудования мини-пекарен. - М.: Пищевая промышленность. – 2000. – № 3. – С.60-61.

65. Матвеева И.В. Новое направление в создании технологии диабетических сортов хлеба. Обзор. инф. Серия.: Хлебопекарная и макаронная промышленность. / И. В. Матвеева, А. Г. Утарова, Л. И. Пучкова и др. – М.: ЦНИИТЭИ Хлебопродуктов, 1991. – 44 с.

66. Машины и аппараты пищевых производств/ Под ред. В.А. Панфилова. Кн. 1. – М.: Высшая школа, 2001, – 703 с. на качество пшеничного хлеба //Изв. вузов. Пищ. технология. –1986. No5. С. 4749.

67. Николук О.И. Устройство для выпечки хлебобулочных изделий электроконтактным способом. /Э.В. Абушинов, Э.Ф. Абдурахманов, О.И. Николук// Юность и знания - гарантия успеха – 2020: сб. науч. статей 7-й Международной молодёжной научной конференции. В 3-х томах. Отв. редактор А.А. Горохов, 2020. – С. 88-92.

68. Николук О.И., Абушинов Э.В. Технические решения модернизации технологического оборудования для выпечки хлебобулочных изделий с использованием ресурсосберегающих технологий /Э.В. Абушинов,

О.И. Николюк // Юность и знания - гарантия успеха – 2020: сб. науч. статей 7-й Международной молодёжной научной конференции. В 3-х томах. Отв. редактор А.А. Горохов. 2020. – С. 14-19.

69. Новосёлов А.Г., Громцев А.С., Агеенков Н.В., Громцев С.А. Способы обогрева пекарной камеры хлебопекарной печи. электроконтактная выпечка / Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации № 3 (9). 2018 С. 123-131.

70. Нугманов А.Х.Х. Теория и практика проектирования пищевых систем на основе феноменологического подхода / А.Х.Х. Нугманов / дисс. на соискание ученой степени доктора технических наук / федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный технологический университет". 2017.

71. Нугманов А.Х.Х., Мещерякова Г.С., Лебедев В.А., Алексанян И.Ю., Аджей Д.Й. Термодинамический анализ статических закономерностей влагопоглощения биополимером на базе его гигроскопических характеристик /А.Х.Х. Нугманов, Г.С. Мещерякова, В.А. Лебедев, И.Ю. Алексанян, Д.Й. Аджей// Известия КГТУ. 2022. № 65. С. 52-65.

72. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года (Указ Президента Российской Федерации от 5 марта 2020 г. № 164).

73. Остриков А. Н., Абрамов О. В. Расчёт и конструирование машин и аппаратов пищевых производств. – СПб.: ГИОРД, 2003. – 352 с.

74. Островский Я.Г. Исследование процессов приготовления заварки и выпечки бескоркового хлеба электроконтактным нагревом: дисс. ... канд. техн. наук / Я.Г. Островский. – М, 1954. – 182 с.

75. Парамонова В.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. Практикум: учебное пособие / В.А. Парамонова. – Донецк: ДонНУЭТ имени Туган-Барановского, 2020. – 111 с. Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL:

<https://e.lanbook.com/book/170479> (дата обращения: 11.06.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

76. Пат. 2702089 Российская Федерация. Хлеб повышенной пищевой ценности и способ его изготовления МПК А21D 13/04 [Текст] Долгих В.В. 2018147043, приор 27.12.2018, опубл. 03.10.2019. Бюл. 28.

77. Пат. 166850 Российская Федерация, МПК А21В 7/00, Устройство для выпечки зернового хлеба [Текст] / Сычев А.А. (RU), Романчиков С.А. (RU), Пахомов В.И. (RU), Целыковских А.А. (RU); заявитель и патентообладатель ФГКВОУ ВО ВАМТО (RU).-№ 2016112198/13, заявл. 31.03.2016. опубл. 10.12.2016 Бюл. № 34– 196 с. : ил

78. Пат. 158128 Российская Федерация, МПК А21В 1/00, Устройство для производства хлебобулочных изделий [Текст]/ Романчиков С.А. (RU), Безгин М.В. (RU), Антуфьев В.Т. (RU), Иванова М.А. (RU), Николук О.И. (RU), Стулов С.В (RU), Пахомов В.И (RU); заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» (RU).-№ 201500836/10; заявл. 12.01.2015 г. опубл. 20.12.2015 г. Бюл. № 35. – 10 с. : ил

79. Пат. 216005 Российская Федерация, А21С 1/06, Месильная камера для замеса теста в месильно-сбивальной машине [Текст]/ Романчиков С.А. (RU), Сызранцев Д.В. (RU), Алексеев Г.В. (RU), и др. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» (RU).-№ 2022114155 приор 25.05.2022 г., опубл. 12.01.2023 г. Бюл. № 2.

80. Пат.214961 Российская Федерация, А21С 1/06, Хлебопекарная электрическая печь [Текст]/ Романчиков С.А. (RU), Сызранцев Д.В. (RU), Алексеев Г.В. (RU) и др. заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения

имени генерала армии А.В. Хрулева» (RU).-№ 2022114156 от 25.05.2022 г. опубл. 22.11.2022. Бюл. № 29.

81. Пат. 2759866, Российская Федерация, А21С 1/06, Хлебопекарная конвейерная электроконтактная печь [Текст]/ Романчиков С.А. (RU), Абушинов Э.В. (RU), заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» (RU).-опубл. 18.11.2021, Бюл. № 32.

82. Пищевые добавки энциклопедия / под редакц. Сарафанова Л.А. Второе издание, исправленное и дополненное СПб, ГИОРД, 2004. – 254 с.

83. Племянникова Н.Н. Ультрафиолетовое излучение (Биологическое действие и гигиеническое значение) / Н.Н. Племянникова, П.Ф. Людвинская. - М.: Медицина, 1966. – 381 с.

84. Поландова Р.Д., Богатырева Т.Г. Основные направления исследований по биохимии и микробиологии в хлебопечении // Хлебопродукты. 1993. – № 3. – С. 32–37.

85. Пономарева А.Н. Участие свободных аминокислот в реакции меланоидинообразования при изготовлении хлеба: Дис. ... канд. биол. наук. / А. Н. Пономарева. – М., 1964. – 272 с.

86. Постановление Правительства РФ от 29 декабря 2007 г. № 946 «О продовольственном обеспечении военнослужащих и некоторых других категорий лиц, а также об обеспечении кормами (продуктами) штатных животных воинских частей и организаций в мирное время» с изменениями внесенными постановлением Правительства РФ от 8 декабря 2008 г. № 931.

87. Постников В.В., Камалова Н.С., Кальченко С.В. Ультразвуковая пластификация лигнина в модифицированной древесине // Известия РАН. Серия физическая. 2010. Т. 74. № 9. – С. 1375–1376.

88. Правила устройства электроустановок (ПУЭ, -7 изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 2003.

89. Рогов И.А., Куцакова В.Е., Филиппов В.И., Фролов С.В. Теплофизические основы консервирования пищевых продуктов холодом. - М.: Колос, 1999. – 174 с.

90. Рогов И.А., Горбатов А.В. Физические методы обработки пищевых продуктов // Пищевая промышленность. – 1974.

91. Романчиков С.А. Технология конвективного теплообмена между теплоносителем и изделием (хлебом) // Хлебопродукты. 2019. № 2. – С. 47–51.

92. Романчиков С.А. Гришин А.В., Сидоров Е.М. Перспективы развития модифицированных видов продовольствия / С.А. Романчиков, А.В. Гришин, Е.М. Сидоров // В сборнике: Проблемы воспроизводства общественного капитала в контексте глобального неравенства Материалы IX Международной заочной научно-практической конференции. – 2014. – С. 131-138.

93. Рустамбекова Ф.Ф., Бобоев А.Х. Свойство пектина из концентрата топинамбура, полученного по инновационной технологии // Universum: Технические науки: электрон.научн. журн. 2019. № 2(59). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/6928>

94. Рыжов В.В. Научно-практическое обеспечение процесса сбивания при производстве хлеба из пшеничной муки: дисс. ... канд. техн. наук: 05.18.12. - Воронеж, 2015.- 138 с.

95. Савельев А.П., Демченко В.А. Метод оценки ресурсоемкости технологического процесса производства мучных изделий /А.П. Савельев, В.А. Демченко// Материально-техническое обеспечение военной организации государства в условиях современных вызовов сборник научных статей XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Том Часть II. Пермь, 2023. – С. 259-268.

96. Селягин В.Г., Энкина Л.С., Фихтенгольц Н.Н. Влияние СВЧ нагрева Справочная книга по светотехнике. / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: – 952 с.

97. Сидоренко Г.А. Разработка технологии производства хлеба с применением электроконтактного энергоподвода : дис. ... кандидата технических наук : 05.18.01 / Моск. гос. ун-т пищевых пр-в. - Оренбург, 2002. – 186 с.

98. Сидоренко Г.А., и др. Электроконтактный энергоподвод при выпечке хлеба /Г.А. Сидоренко, В.П. Попов, Г.Б. Зинюхин, А.Г. Зинюхина Д.И. Ялалетдинова // Вестник оренбургского государственного университета № 1 (137) / январь 2012. – С. 214-221.

99. Сидоренко Г.А. Разработка технологии производства хлеба с применением электроконтактного способа выпечки: монография /Г.А. Сидоренко, В.П. Попов, Г.Б. Зинюхин, В.Г. Коротков// Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 124 с.

100. Скурихин И.М., Нечаев А.П. Все о пище с точки зрения химика / И.М. Скурихин, А.П. Нечаев // – М.: Высшая школа, 1991. - 288 с.

101. Скурихин И.М., Как правильно питаться / И.М. Скурихин [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 255 с.

102. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года (Указ Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645).

103. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. (Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 года).

104. Стратегия повышения качества пищевой продукции до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 № 1364-р).

105. Стратегия национальной безопасности Российской Федерации (указ Президента РФ от 02.07.2021 г. № 400).

106. Сызранцев Д.В., Искаков И.Ж., Кучеренко В.Я., Алексеев Г.В., Лях К.С. 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. DOI: 10.24412/2311-6447-2022-3-223-231.

107. Сызранцев Д.В., и др. Регулирование режимов электроконтактной выпечки для компенсации упека тестозаготовок / Д.В. Сызранцев, Г.В. Алексеев, А.П. Савельев, Е.Н. Ивлева // Ползуновский вестник. 2023. № 2. С. 31-36. DOI: 10.25712/АСТУ.2072-8921.2023.02.004.

108. Сызранцев Д.В. Методика обоснования основных конструктивных элементов конвейерной хлебопекарной печи и её эксплуатационных характеристик / Д.В. Сызранцев // Хлебопродукты. 2023. № 8. С. 49-53. DOI: 10.32462/0235-2508-2023-32-8-49-53.

109. Сызранцев Д.В., Абушинов Э.В., Ермошин Н.А., Мокрушин А.С. Имитационная модель выпечки хлебопродуктов электроконтактным способом. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022612108, 08.02.2022. Заявка № 2022611352 от 02.02.2022.

110. Сызранцев Д.В., Топоров А.В., Востряков И.В., Мокрушин А.С. Математическая модель приготовления пищи в полевом пароварочном аппарате. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022615311, 30.03.2022. Заявка № 2022614623 от 23.03.2022.

111. Сызранцев Д.В., Алексеев Г.В., Лях К.С. 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 З.Ш. [и др.]. М.: 2022. – С. 170-174.

112. 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.

113. Сызранцев Д.В., Леу А.Г. 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.

114. 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.

115. Сызранцев Д.В., Романчиков С.А., Уточкин Е.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.

116. Сызранцев Д.В., Ивлева Е.Н., Новикова М.А. 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.

117. Сызранцев Д.В., Ивлева Е.Н., Алексеев Г.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-ой международной очно-заочной научно-практической конференции, (17 мая 2023 г.), – М.: Издательство НИЦ «Империя», 2023. – С. 37-39.

118. Сызранцев Д.В., Ивлева Е.Н., Сикорская В.М., Алексеев Г.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.

119. Сызранцев Д.В., Бирченко А.А. 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.
120. Сызранцев Д.В., Ивлева Е.Н., Алексеев Г.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.
121. Сычев А.А., Романчиков С.А. Инновационные решения в сфере производства продукции агропромышленных предприятий /А.А. Сычев, С.А. Романчиков// В сборнике: Неделя науки СПбПУ, материалы научной конференции с международным участием. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2016. – С. 61-63.
122. Тутельян В.А. Современные приоритеты науки о питании / В.А. Тутельян // Вопросы питания. – 1994. – № 3. – С. 10–15.
123. Хромеев В. М. Оборудование хлебопекарного производства. – М.: ИРПО; Изд. центр «Академия», 2000. – 320 с.
124. Хачатурян Э.Е., Гвасалия Т.С., Якименко Т.П. Двести составляющих реакции меланоидинообразования / Э.Е. Хачатурян, Т.С. Гвасалия, Т.П. Якименко // Современная наука и инновации 2014. № 4. - С 22-23.
125. Цветков О.Б. Термодинамика. Теплопередача: Справочное пособие/ Цветков О.Б., Лаптев Ю.А.- 2. изд., исправл. - СПб.: СПбГУНиПТ, 2008. – 41 с.
126. Цыганова Т. Б. Технология хлебопекарного производства. – М.: ИРПО; Издательский центр «Академия», 2001. – 432 с.
127. Чепурной И.П. Товароведение и экспертиза кондитерских товаров. М.: Дашков 2002. – 404с.
128. Шаронов А.Н., Шаронов Е.А. Тактико-технические требования к разрабатываемым образцам технических средств// Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № 6 (7). – С. 51-64.

129. Целыковских А.А., Бабенков В.И., Гурьянов А.В., Ермошин Н.А., Каптюх А.Н., Романчиков С.А. Научное обоснование технических и технологических решений модификации технических средств и процессов продовольственного обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации / А.А. Целыковских, В.И. Бабенков, А.В. Гурьянов, Н.А. Ермошин, А.Н. Каптюх, С.А. Романчиков / монография. – СПб.: ВАМТО, 2020. – 236 с.
130. Шевелева Г.И. Разработка способов повышения витаминной ценности хлебобулочных изделий. Дис. ... канд. тех. наук. / Г. И. Шевелева. – М., 1992. – 178 с.
131. Шендеров Б.А. Состояние и перспективы развития концепции "Функциональное питание в России" / Б.А. Шендеров/ [Электронный ресурс] [www https://studfile.net/preview/3542686//](https://studfile.net/preview/3542686/).
132. Шестаков С. Д. Управление гидратацией биополимеров пищевых сред // в кн. Теоретические основы пищевых технологий. – М: КолосС, 2009.
133. Шестаков С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции /С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш//. СПб: ГИОРД, 2013. – 152 с.
134. Ялалетдинова Д.И., Сидоренко Г.А., Попов В.П. Применение электроконтактного энергопровода для выпечки зернового хлеба // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – №2 – С. 23-26.
135. Хачатурян Э.Е., Гвасалия Т.С., Якименко Т.П. Двести составляющих реакции меланоидинообразования / Э.Е. Хачатурян, Т.С. Гвасалия, Т.П. Якименко //Современная наука и инновации. 2014;(4):22-32.
136. Baker, J.C. Method and apparatus for testing dough / J.C. Baker // Cereal Chemistry. – 1939. – v. 25. – № 4. – P. 38–42.
137. Baker, J.C. Effect of temperature on dough properties I. / J.C. Baker, M.D. Mize // Cereal Chemistry. – 1939. – v. 26. – № 4. – P. 76–81.
138. Baskar G. Overview on mitigation of acrylamide in starchy fried and baked foods / G. Baskar, R. Aiswarya// Journal Sci. Food Agric. – 2018. – V. 98. – № 12. – P. 4385–4391.

139. Breitbach M. Influence of ultrasound on adsorption processes /M. Breitbach, D. Bathen// *Ultrasonics Sonochemistry*. 2001. – Vol. 8, № 3. – P. 277-283.
140. Bertuzzi T. Mitigation measures for acrylamide reduction in dough-based potato snacks during their expansion by frying / T. Bertuzzi [et al.] // *Food Additives & Contaminants: Part A*. – 2018. – V. 35. – № 10. – P. 1940–1946.
141. Butt M.S. Xylanases and Their Applications in Baking Industry / M.S. Butt [et al.] // *Food Technol. Biotechnol.* – 2008. – V. 46. – № – P. 22–31.
142. Danilcenko H., Jariene E., Slepetiene A., Sawicka B., Zaldariene S. The distribution of bioactive compounds in the tubers of organically grown Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) during the growing period. *ActaSci. Pol. HortorumCultus*. 2017.
143. Davies R. Observations on the use of ultrasound waves for the disruption of microorganisms /R. Davies// *J. Bacteriol.* 1959. - № 33. – P. 481-493.
144. Delgado-Andrade C. Maillard reaction products: some considerations on their health effects / C. Delgado-Andrade // *Clin. Chem. Lab. Med.* – 2014. – V. 5 – № 1. – P. 53–60.
145. Eller S.A. Straightened diffusion in ultrasonic field / S.A. Eller, H.G. Flynn // *Journal of the Acoustical Society of America*. 1967. – Vol. 37, № 3. – P. 493-503.
146. Elpiner I.E. *Ultrasound: Physical, Chemical, and Biological Effects* / I.E. Elpiner // Consultants Bureau. New York, 1964. – P. 53-78.
147. Gertis L.R. Lipases and Their Functionality in the Production of Wheat-Based Food Systems / L.R. Gertis [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2014. – V. 13. – № 5. – P. 978–984.
148. Zononi, B. Effect of moisture and temperature on the Specific heat of Bread / B. Zononi, M. Petronio // *Ital. J. Food Sci.* – 1991. – №3. – P. 239–242.
149. Hickling R. Shock wave at slammed of cavitation bubble / R. Hickling, M.S. Plesset // *Phys. Fluids*. 1964. – Vol. 7, № 1. – P. 7-14.

150. Kaszás L., Kovács Z., Nagy E., Elhawat N., Abdalla N., Domokos-Szabolcsy E. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a potential chlorophyll source for humans and animals nutrition. *Environ. Biodivers. Soil Secur.* 2018.

151. Lund M.N. Control of Maillard Reactions in Foods: Strategies and Chemical Mechanisms / M. N. Lund, C. A. Ray // *Agric. Food Chem.* – 2017. – V. 65. – № 23. – P. 4537–4552.

152. Liava V., Karkanis A., Danalatos N., Tsiropoulos N. Cultivation Practices, Adaptability and phytochemical composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A weed with economic value. *Agronomy.* 2021.

153. Long X.H., Shao H.B., Liu L., Liu L.P., Liu Z.P. Jerusalem artichoke: A sustainable biomass feedstock for biorefinery. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016. Fang Y.R., Liu J.A., Steinberger Y., Xie G.H. Energy use efficiency and economic feasibility of Jerusalem artichoke production on arid and coastal saline lands. *Ind. Crops Prod.* 2018.

154. Novikova M.A., Goncharov M.V., Syzrancev D.V., Alekseev G.V. 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). – C. 95-101.

155. Palma M. Ultrasound-assisted extraction of compounds from foods /M. Palma, Z. Pineiro, M.A. Rostagno, C.G. Barroso// *Food Chemistry.* 2008. – Vol. 106, № 2. – P. 804-810.

156. Rinaldelli E. Effect of ultrasonic waves on seed germination of *Capparisspinosa* L. as related to exposure time, temperature, and gibberellic acid / Rinaldelli, E. University of Florence, Department of Horticulture, Firenze, ITALIE 1987. – P. 18.

157. Santis D.D., Frangipane M.T. Evaluation of chemical composition and sensory profile in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers: The effect of clones and cooking conditions. *Int. J. Gastron. Food Sci.* 2017.

158. Stanisavljevic I. Ultrasonic extraction of oil from tobacco (*Nicotianatabacum* L.) seeds /I.T. Stanisavljevic, M.L. Lazica and V.B. Veljkovic// Serbia. Ultrasonicsonochemistry. Vol 14, № 5. – P. 646-652.

159. Somoza V. Five years of research on health risks and benefits of Maillard reaction products: An update /V. Somoza // Mol. Nutr. Food Res. – 2005. – V. 49. – № 7. – P. 663– 671.

160. The use of hing thermal conductivity inserts to improve the cooling of cooked foods / Ketteringham Laurence, James Stephen (MAFF Advaced Fellowship in Food Process Engineering, FRPF.RC, University of Bristol, Churchill Building, Langford, Bristol BS40 5DU, UK) // J. Food Eng. – 2000. – 45. – № 1. – P. 49-51.

161. Unravellingthe *Helianthus tuberosus* L. (Jerusalem Artichoke, Kiku-Imo) Tuber Proteome by Label-Free Quantitative Proteomics, Ranjith Kumar, Ravi Gupta, Cheol-Woo Min, Sun-Tae Kim, Genboku Takahashi, Junko Shibato, Seiji Shioda, FumikoTakenoya, Ganesh Kumar Agrawal, RandeepRakwal. *Molecules*. 2022 Feb; 27(3): 1111.

162. Vacuum cooling technology for the food processing industry / McDonald Karl, Sun DaWen. // J. Food Eng. – 2000. – 45. – № 2. – P. 5 5 455.

163. Van WambekeE.Ultrasonic antifungal treatment of crop nutrient solutions / Van Wambeke E., Van Reet J., Vanachter A., Van Assche C. // *Meded. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent*. 1985. – Vol. 50, № 3, – P. 1081-1086.

164. Wang Y., Zhao Y., Xue F., Nan X., Wang H., Hua D., Liu J., Yang L., Jiang L., Xiong B. Nutritional value, bioactivity, and application potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a neotype feed resource. *Anim. Nutr*. 2020.

165. Yang L., He Q.S., Corscadden K., Udenigwe C.C. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnol. Rep*. 2015.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ РАБОТЫ



**ПРЕЗИДЕНТСКАЯ
АКАДЕМИЯ
ИНСТИТУТ УПРАВЛЕНИЯ**
РАНХиГС ОРЕЛ

ДИПЛОМ

награждается

Сызранцев Дмитрий Викторович

**победитель конкурса научных работ обучающихся «НАУКА БУДУЩЕГО»
XV Международной научно-практической конференции учащихся, студентов,
магистрантов, аспирантов «образование и наука без границ: конвергенция
социально-гуманитарных и естественно-технических наук»**

Начальник
управления научной работы



А. В. Щеголев

Орел, 25 апреля 2023 г.



ПРАВИТЕЛЬСТВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

ДИПЛОМ

серия ПСП № 23918

ЗА ВЫСОКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В УЧЕБНОЙ, НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ,
ТВОРЧЕСКОЙ И ОБЩЕСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
СТИПЕНДИИ ПРАВИТЕЛЬСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В 2023–2024 УЧЕБНОМ ГОДУ
УДОСТОЕН(А)

Сызымцев Дмитрий Вислорович

Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулева

Губернатор Санкт-Петербурга

А. Д. Беглов



МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНКУРС
НАУЧНЫХ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК
НАПРАВЛЕННЫХ НА РАЗВИТИЕ И ОСВОЕНИЕ
АРКТИКИ И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА

ДИПЛОМ

**ЛАУРЕАТА ТРЕТЬЕЙ ПРЕМИИ КОНКУРСА 2022 ГОДА
НАГРАЖДАЕТСЯ**

Сызранцев Дмитрий Викторович

за проект

**«Повышение параметров надежности и живучести аппаратов
пищевых производств эксплуатируемых в условиях низких
температур»**

Первый заместитель Министра энергетики
Российской Федерации



П.Ю. Сорокин



МОЛОДЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ В ОТВЕТ НА СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ



ДИПЛОМ

I степени

номинация «Технические науки»

в Международном научно-исследовательском конкурсе

НАГРАЖДАЕТСЯ

Сызранцев Дмитрий Викторович

слушатель,

Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А.В. Хрулева, Санкт-Петербург

автор исследовательской работы
«РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ КАК ОСНОВА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ»

Научный руководитель: Кравцова Евгения Владимировна, к.т.н., доцент,
Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург



29 августа 2022 г.
Российская Федерация
г. Петрозаводск

Директор
МЦНП «Новая наука»
И.И. Ивановская





**ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ
МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ИМЕНИ ГЕНЕРАЛА АРМИИ А.В. ХРУЛЁВА**

СЕРТИФИКАТ

Выдан

капитану

СЫЗРАНЦЕВУ

Дмитрию Викторовичу

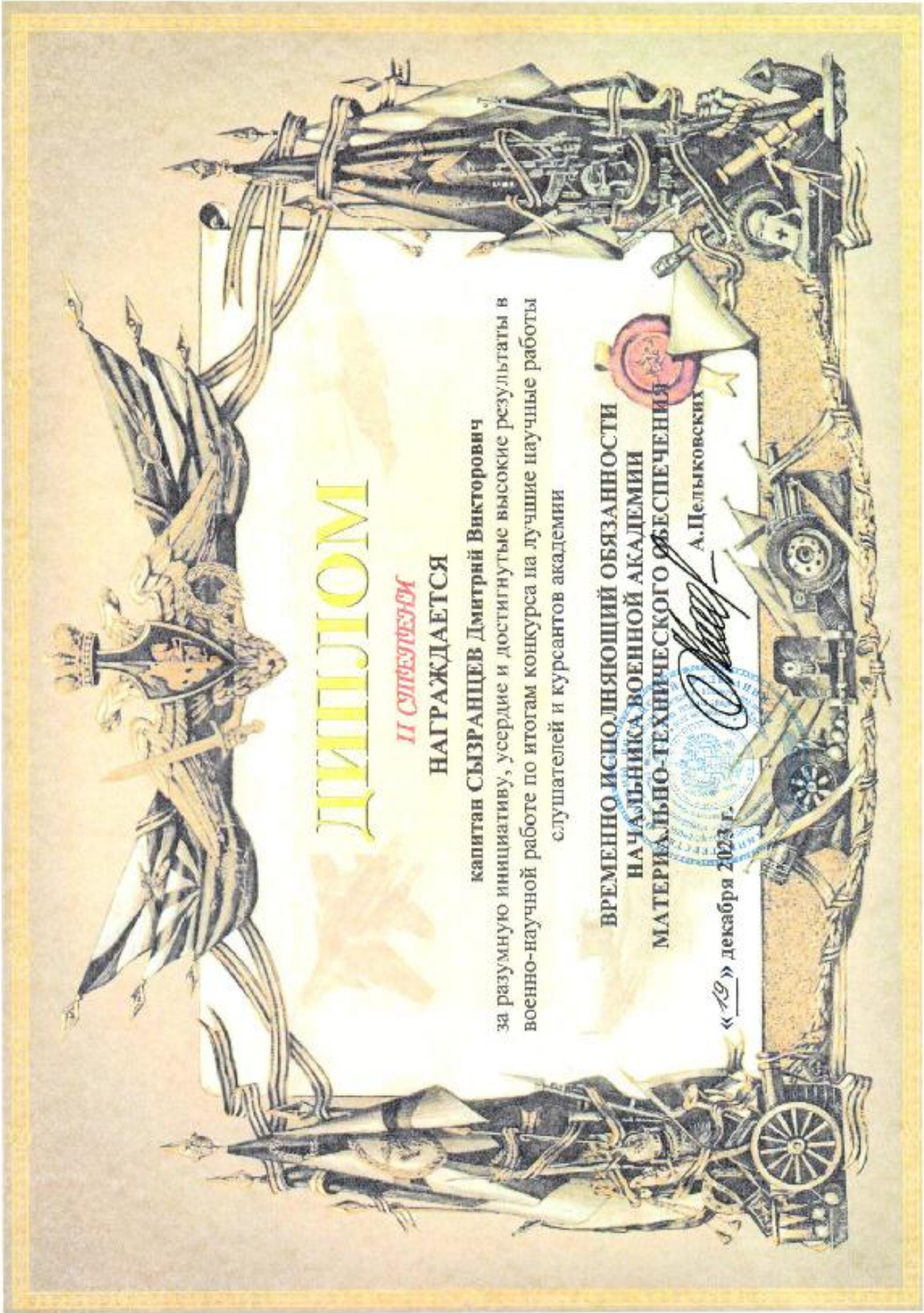
**В ТОМ, ЧТО ОН 24 МАРТА 2023 ГОДА
ВЫСТУПИЛ С ДОКЛАДОМ НА ВОЕННО-НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ЗАЩИТА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ»**
(в рамках конкурса на лучшие научные работы, выполненные слушателями и
курсантами вузов Министерства обороны Российской Федерации)

**ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ
МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПО УЧЕБНОЙ И НАУЧНОЙ РАБОТЕ**

«17» марта 2023 г.



А.Цельковских



ДИПЛОМ

II СТУПЕНЬ

НАГРАЖДАЕТСЯ

капитан СЫЗРАНЦЕВ Дмитрий Викторович

за разумную инициативу, усердие и достигнутые высокие результаты в военно-научной работе по итогам конкурса на лучшие научные работы слушателей и курсантов академии

ВРЕМЕННО ИСПОЛНЯЮЩИЙ ОБЯЗАННОСТИ
НАЧАЛЬНИКА ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ
МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А.Цельковских

«19» декабря 2023 г.





Д.В. Сыранов,
д-р ГКСОУ ВО «Военная академия
материально-технического
обеспечения им. генерала армии
А.В. Хрулева»

doi: 10.32462/0235-2508-2023-33-8-44-
УДК 664.6.014.019

Методика обоснования основных конструктивных элементов конвейерной хлебопекарной печи и её эксплуатационных характеристик

В целях реализации Стратегии национальной безопасности Российской Федерации (РФ), повышения качества продуктов питания потребителей, находящихся в стрессовых ситуациях (раненные, больные, пережившие чрезвычайные ситуации, катастрофы и др.) требуется разработка новых технических средств для приготовления пищи лечебного назначения.

Хлеб и хлебобулочные изделия на протяжении многих лет остаются одними из основных продуктов питания, используемых в рационах питания потребителей. Разработка и совершенствование рецептур хлеба и хлебобулочных изделий обеспечивает возможность снабжения населения продуктами питания лечебного назначения.

Правильно организованное питание, в том числе лечебное, это один из главных факторов укрепления здоровья, физического развития и лечения больных, их устойчивости к различным нагрузкам и воздействиям в повседневной, учебной и боевой обстановке, а также восстановления после ранения, заболевания и быстрого возвращения в строй, что будет способствовать поддержанию боеспособности и боеготовности войск (сил).

Сущность методики заключается в учёте синергетического эффекта, полученного

Аннотация. Предложено и запатентовано техническое решение конвейерной хлебопекарной печи, принцип работы которой основан на использовании в процессе выпечки электрического тока высокой частоты, обеспечивающего трение и колебание молекул в внутреннем слое тестозаготовки, в результате чего выделяется теплота и реализуется её переход от тестозаготовки к хлебу при значительном снижении температуры парогазовой среды.

В целях расчёта эксплуатационных характеристик оборудования для электроконтактной выпечки хлеба, разработана методика обоснования основных конструктивных элементов конвейерной хлебопекарной печи и её эксплуатационных характеристик, позволяющая оценить влияние энергетических полей на сохранение нутриентов. Научная новизна методики состоит в обосновании конструкции хлебопекарной печи на основе математического моделирования процессов электроконтактной выпечки с учётом изменения динамики и направления тепломассопереноса при комплексном воздействии на тестозаготовку ультрафиолетовым и инфракрасным (ИК) излучением.

Ключевые слова: конструктивный элемент, электроконтактная выпечка, инфракрасное (ИК) излучение, энергетическое поле, хлеб, конвейерная хлебопекарная печь.

в результате электроконтактного подвода теплоты и воздействия инфракрасного и ультрафиолетового излучения на тестозаготовку при выпечке хлеба.

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

$$\varphi^2 t + \frac{w}{\lambda} = \frac{c\alpha}{\lambda} \frac{dt}{dt}, \quad (1)$$

где t – температура тепловой обработки тестозаготовки, °С; w – плотность мощности тепловыделений в тестозаготовке, Вт/м³; λ – теплопроводность тестозаготовки, Вт/м·К; c – удельная теплоёмкость тестозаготовки, Дж/кг·К; ρ_s – плотность тестозаготовки, кг/м³; d – толщина тестозаготовки, м; τ – продолжительность обработки, с.

Для определения результирующей мощности, подводимой к тестозаготовке, используется

зависимость:

$$W(t) = W_{\text{эл}}(t) + W_{\text{исп}}(t) + W_c(t) + W_{\text{ср}}(t), \quad (2)$$

где $W(t)$ – полная мощность, подводимая к тестозаготовке, Вт; $W_{\text{эл}}(t)$ – мощность, расходуемая на физико-химические процессы, протекающие в процессе выпечки, Вт; $W_{\text{исп}}(t)$ – мощность, расходуемая на испарение влаги, Вт; $W_c(t)$ – мощность, расходуемая на нагрев массы теста теплоёмкостью; Вт; $W_{\text{ср}}(t)$ – мощность, теряемая в окружающую среду во время нагрева, Вт.

Расход энергии Q на нагрев тестозаготовки составляет незначительную часть от потребляемой мощности:

$$Q = \alpha(t_c - t_0) \quad (3)$$

где α – удельная теплоёмкость, Дж/кг; t_c и t_0 – температура начальная и конечная, соответственно, °С.

Сила тока и длительность

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 216005

МЕСИЛЬНАЯ КАМЕРА ДЛЯ ЗАМЕСА ТЕСТА В МЕСИЛЬНО-СБИВАЛЬНОЙ МАШИНЕ

Патентообладатель: *Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева" Министерства обороны Российской Федерации (RU)*

Авторы: *Романчиков Сергей Александрович (RU), Алексеев Геннадий Валентинович (RU), Искаков Ирлан Жангазыевич (RU), Кучеренко Виталий Яковлевич (RU), Курбанов Артур Хусаинович (RU), Волков Иван Евгеньевич (RU), Сызранцев Дмитрий Викторович (RU)*

Заявка № 2022114155

Приоритет полезной модели 25 мая 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 12 января 2023 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 25 мая 2032 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Федеральная служба по интеллектуальной собственности
документ подлин. Аттестация подлинности
Сертификат №0480019 Аттестация №021494001
Адрес: Тульская область, Сергиевск
Добровольная ул. 30/1, 383101

Ю. С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 214961

ХЛЕБОПЕКАРНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПЕЧЬ

Патентообладатель: *Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования "Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева" Министерства обороны Российской Федерации (RU)*

Авторы: *Романчиков Сергей Александрович (RU), Алексеев Геннадий Валентинович (RU), Исаков Ирлан Жангазыевич (RU), Кучеренко Виталий Яковлевич (RU), Курбанов Артур Хусаинович (RU), Волков Иван Евгеньевич (RU), Сызранцев Дмитрий Викторович (RU)*

Заявка № 2022114156

Приоритет полезной модели 25 мая 2022 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 22 ноября 2022 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 25 мая 2032 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью
Сертификат 68b80077e14e40f0a94edbd24145d5c7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 20.03.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов



УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «Проектинтертехника»
А. Лоза
«21» декабря 2023 г.
АКТ № _____

о внедрении технического решения «Хлебопекарная электрическая печь»
в ООО «Проектинтертехника» от «21» декабря 2023 г.

Настоящий акт составлен в том, что вышеуказанное техническое решение «Хлебопекарная электрическая печь» (Пат. 214961 Российская Федерация, А21С 1/06, Хлебопекарная электрическая печь [Текст]/ заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» (RU). -№ 2022114156, приор. 25.05.2022 г. опубл. 22.11.2022. Бюл. № 29) разработанное Сызранцевым Д.В. в рамках выполнения им диссертации внедрено в техническую документацию ООО «Проектинтертехника» на разработку перспективного технологического оборудования выпечки хлеба в полевых условиях. В соответствии с этой документацией изготовлен опытный образец.

Внедрение технического решения обеспечивает улучшение органолептических показателей хлеба на 12-16 %, повышает пищевую ценность на 15-27 %, снижение продолжительности выпечки 1,2-5 раз, меланоидинообразования и образование канцерогенов, расширение ассортимента хлебобулочных изделий, что позволяет приготовить требуемые по качеству продукты для функционального питания.

Комиссия подтверждает, что техническое решение, разработанное Сызранцевым Д.В., внедрено в производство ООО «Проектинтертехника» и имеет важное государственное значение для реализации «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации», (указ Президента РФ от 02.07.2021 г. № 400), государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» (утвержденная постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 328 (с изменениями утвержденными постановлением Правительства РФ от 31.03.2017 г. № 328-13)) и Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года").

Заместитель генерального директора –

Начальник отдела



Д. Обанин

С. Рубцов

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «Алгоритм»
Е.В. Коновалова
«12» декабря 2023 г.

АКТ № _

о внедрении технического решения «Месильная камера для замеса теста в месильно-сбивальной машине» в ООО «Алгоритм» от «12» декабря 2023 г.

Настоящий акт составлен в том, что вышеуказанное техническое решение «Месильная камера для замеса теста в месильно-сбивальной машине» (Пат. 216005 Российская Федерация, А21С 1/06, Месильная камера для замеса теста в месильно-сбивальной машине [Текст]/ заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» (RU).-№ 2022114155 приор 25.05.2022 г., опубл. 12.01.2023 г. Бюл. № 2) разработанное Сызранцевым Д.В. в рамках выполнения им диссертации внедрено в техническую документацию ООО «Алгоритм» на разработку перспективного технологического оборудования производства хлеба в полевых условиях. В соответствии с этой документацией изготовлен опытный образец.

Внедрение технического решения обеспечивает улучшение показателей теста при внесении в него дополнительных ингредиентов, расширение ассортимента хлеба, что позволяет приготовить продукты питания функционального назначения.

Комиссия подтверждает, что техническое решение, разработанное Сызранцевым Д.В., внедрено в производство ООО «Алгоритм» и имеет важное государственное значение для реализации государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» (утвержденная постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 328 (с изменениями утвержденными постановлением Правительства РФ от 31.03.2017 г. № 328-13)).

Конструктор


А. Соловьев