

На правах рукописи

КАЙЧЕНОВ АЛЕКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОЙ ОБРАБОТКИ
ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ АРКТИКИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 2.3.3 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами

Автореферат

**диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук**

Мурманск – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования (ФГАОУ ВО) «Мурманский государственный технический университет» (МГТУ).

Научный консультант: **Благовещенский Иван Германович**
доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры «Информатика и вычислительная техника
пищевых производств» ФГБОУ ВО «Московский
государственный университет пищевых производств»

Официальные оппоненты: **Никитина Марина Александровна**
доктор технических наук, доцент,
ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых
систем им. В.М. Горбатова» РАН, ведущий
научный сотрудник, руководитель направления
«Информационные технологии» Центра ЭАИИТ

Петров Сергей Михайлович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет технологий и управления
им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», кафедра систем
автоматизированного управления, профессор

Лихтер Анатолий Михайлович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
университет», заведующий кафедрой общей
физики

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «**Калининградский государственный
технический университет**»

Защита состоится __07__ . __октября__ 2022 г. в __13__ час. 00 мин. на заседании
Диссертационного совета 24.2.334.01 (Д 212.148.02) на базе ФГБОУ ВО
«Московский государственный университет пищевых производств» по адресу:
109316, г. Москва, ул. Талалихина, д.33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «МГУПП» и на
сайте: <http://www.mgupp.ru>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью,
просим направлять по адресу: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11.

Автореферат разослан ____ . _____ 2022 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета 24.2.334.01 (Д 212.148.02),

кандидат технических наук _____ Мокрушин С. А

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Продовольственная безопасность страны является одним из важных элементов национальной безопасности. Стратегической целью, прописанной в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, является обеспечение населения страны безопасной, качественной и доступной сельскохозяйственной продукцией, сырьем и продовольствием.

В условиях развития цифровой промышленности и массовой кастомизации производства требования к качеству, производству и реализации пищевой продукции ориентированы на уникальные запросы потребителей. Удовлетворение покупательского спроса возможно при условии систематического обновления ассортимента пищевой продукции и улучшения ее потребительских свойств.

В рыбной промышленности России начинаются процессы цифровой трансформации. В частности, определены целевые индикаторы, определяющие количество внедренных современных технологий в производство товарной пищевой рыбной продукции, что подтверждает важность исследований в области создания и модернизации технологических процессов.

Сохранение качества продукции, экономное расходование сырья и ресурсов являются ключевыми проблемными вопросами рыбной промышленности России. Решение данных вопросов приведет к повышению экономической доступности качественной рыбной продукции. Увеличивающиеся объемы вылова требуют совершенствования технологий переработки и переоснащения береговых рыбоперерабатывающих предприятий.

Популярными в Российской Федерации рыбными продуктами являются стерилизованные консервы и полуконсервы, копченая и сушеная продукция, а ключевым процессом, определяющим их безопасность и качество, является тепловая обработка.

Создание новых видов рыбных продуктов требует разработки научно обоснованных режимов, утверждаемых затем в установленном порядке.

Разработка режима зачастую требует использования значительных энергетических, материальных и временных ресурсов. Трудоёмкость этого процесса обусловлена проведением большого количества экспериментальных исследований, необходимых для получения и утверждения режима. Упрощение процедуры разработки возможно при использовании технологии «цифровых двойников». Моделирование процессов позволит повысить эффективность установок, сократить расход ресурсов на процесс, повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции, уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду. Такой подход позволит ускорить внедрение технологий переработки рыбного сырья (в том числе щадящих режимов) соответствующих установленным требованиям за счет прогнозирования качества.

Создание системы комплексных технологических решений, обеспечивающей в кратчайшие сроки проектирование и производство

конкурентоспособной продукции с применением концепции «Фабрика Будущего», позволит сократить срок вывода продуктов на рынок, снизить отходо- и энергоемкость производства, а также повысить его гибкость.

Степень разработанности темы

На сегодняшний день накоплен достаточный практический и теоретический объем информации по автоматизации технологических процессов пищевых производств с использованием современных информационных технологий, которые проводили А.Н. Австриевских, С.И. Апанасенко, В.К. Битюков, М.М. Благовещенская, М.В. Жиров, А.Я. Красинский, А.Е. Краснов, О.П. Красуля, В.В. Макаров, В.В. Митин, Н.В. Остапчук, В.В. Письменный, И.К. Петров, Е.А. Прокофьев, А.В. Татаринов, В.Я. Черных, Е.Д. Чертов, А.В. Шаверин и др. В настоящей работе был учтен и проработан опыт предыдущих исследований, использованы рекомендации, приводимые авторами перечисленных трудов.

Большой вклад в разработку теоретических и практических основ технологии стерилизованных консервов внесли такие учёные, как Б.Л. Флауменбаум, В.П. Бабарин, С.П. Сердобинцев, С.А. Мокрушин, А.В. Власов, А. Абакаров, С. Альмонасид, И. Норонья, Дж. Банга, В. Бигеллоу, Ч. Болл, Т. Дюранс, Ф. Оливейра, К. Сильва, Р. Симпсон, Ч. Стамбо, А. Тейксейра, Ф. Эрдогду и другие.

Решением проблем, связанных с теорией и практикой технологического процесса копчения и обезвоживания пищевых продуктов, занимались ученые: И.А. Рогов, В.И. Курко, Ю.А. Фатыхов, Г.И. Касьянов, В.А. Оноприйко, А.М. Ершов, Ю.Т. Глазунов, В.А. Гроховский, Ю.В. Шокина, А.Ю. Висков, Д.А. Пономаренко, И.Э. Бражная, М.А. Ершов, В.А. Похольченко и др.

В настоящее время хорошо изучены математические основы решения задач оптимизации процессов и режимов. Большой вклад в развитие методов системного анализа, моделирования внесли ученые – Кафаров В.В., Гордеев Л.С., Мешалкин В.П., Дорохов И.Н., Пащенко Ф.Ф., Протопопов И.И. и др.

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы: создание методологических основ автоматизации, цифровизации систем управления процессами стерилизации, пастеризации, копчения и обезвоживания пищевых продуктов с использованием интеллектуальных технологий.

Достижение поставленной цели возможно при решении следующих задач:

- провести исследование методов тепловой обработки консервов и методик разработки режимов технологических процессов;
- провести разработку способа стерилизации консервов, в основе которого используется F-эффект, как регулируемый параметр системы автоматического управления;
- провести разработку способа управления тепловой обработкой консервов, позволяющего прогнозировать F-эффект;
- провести цифровое моделирование процесса стерилизации в водной и паровой средах с различными продуктами из водных биоресурсов Арктики;

- провести «цифровую сертификацию» режимов стерилизации консервной продукции с применением «цифровых двойников»;
- реализовать оптимальную по затратам энергии систему автоматического управления процессами тепловой обработки в автоклавах;
- провести разработку способа управления процессами обезвоживания и копчения, позволяющего прогнозировать эффект обезвоживания;
- провести модернизацию системы автоматического управления коптильной установки;
- провести цифровое моделирование процессов обезвоживания и копчения;
- исследовать системы управления процессами тепловой обработки водных биоресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий.

Научная новизна

- предложены способы управления тепловой обработкой пищевых продуктов, основанных на прогнозировании эффекта тепловой обработки;
- предложены методологические основы «цифровой сертификации» режимов тепловой обработки с применением «цифровых двойников»;
- предложены методологические основы создания «цифровых двойников» процессов тепловой обработки;
- предложены методологические основы цифрового моделирования процессов тепловой обработки;
- предложена иерархическая структура автоматизированной системы управления процессом копчения пищевых продуктов;
- разработана и модернизирована система автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установкой;
- предложены методологические основы построения энергоэффективных оптимальных режимов тепловой обработки рыбного сырья;
- предложена нечеткая экспертная подсистема оценки качества консервов;
- проведено цифровое моделирование управления процессами тепловой обработки с прогнозирующими моделями, с применением нейросетевых прогнозирующих регуляторов, а также ПИД-регулятора с нечеткой коррекцией коэффициентов.

Оригинальность и научная обоснованность подходов отражена в 152 публикациях, из которых 5 опубликованы в рецензируемых международных базах данных (Scopus и WoS).

Теоретическая значимость заключается в разработке нового научного направления в области автоматизации технологических процессов пищевых производств, связанного с созданием «цифровых двойников» в рыбной промышленности.

Практическая значимость

Разработаны следующие программы для ЭВМ: F_CHANGE для универсальной коптильно-сушильной установки; FILTER_FOR_TEMP для универсальной коптильно-сушильной установки; MIST.Reader_Owen (МИСт. Преобразование отчетов ОВЕН); MiST. Подпрограмма «Блокировка» для АВК-30М; программа «Модуль расчета вспомогательных параметров в модели

автоклава на шаге квантования»; программа «Modeller»; программа «Оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья»; программа поиска оптимума; оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья; программа построения графиков; оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья; программа подсчета экономии электроэнергии; модуль расчета параметров воды в модели автоклава на шаге квантования; модель автоклава для тренажера процесса стерилизации; модуль расчета параметров воздушной среды в модели автоклава на шаге квантования; модуль макросов для модели автоклава; PID_TEMP для универсальной коптильно-сушильной установки, PLC_PRG для универсальной коптильно-сушильной установки; вычисление адресов регистров CoDeSys для панели оператора «ОВЕН» СП270 по структуре данных; моделирование временной зависимости температуры в дымогенераторе в процессе его работы; моделирование звена задержки; модуль расчета потерь массы сырья; модуль подсчета электроэнергии, затраченной на технологический процесс; модуль задания режимов релаксации; построение графиков по данным в формате .odc и моделирование объекта; преобразование архивных данных трендов 3S CodeSys в структурированный численный вид; программа управления секциями установки для поиска оптимальных технологических режимов; программа пятиканального блока управления фазовыми регуляторами напряжения; пятиканальный программный ШИМ для управления вентиляторами постоянного тока; расчет шага методом Рунге-Кутты 4-го порядка для инерционных звеньев 1-го и 2-го порядков. Получен патент на изобретение «Способ управления процессом стерилизации консервов, основанный на F-эффекте», патент на полезную модель «Малогобаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов сушки сырья», патент на полезную модель «Дымогенератор», патент на полезную модель «Стерилизационная установка», патент на полезную модель «Устройство для получения коптильного препарата».

Результаты работы используются при проведении лекционных, лабораторных и практических занятий обучающихся направления подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» уровня бакалавриата и магистратуры в рамках учебного процесса по направлению подготовки ФГАОУ ВО МГТУ.

Разработанные методы, модели, алгоритмы, системы и программы прошли апробацию и были внедрены в производство АО «Стрелец», ООО «Интро».

Положения, выносимые на защиту

- методологические основы создания «цифровых двойников» в рыбной промышленности;
- методологические основы «цифровой сертификации» режимов тепловой обработки;
- способы управления тепловой обработкой пищевых продуктов, основанных на прогнозировании эффекта тепловой обработки;

- методологические основы цифрового моделирования процессов тепловой обработки пищевых продуктов;
- иерархическая структура автоматизированной системы управления процессом копчения пищевых продуктов;
- система автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установкой;
- нечеткая экспертная подсистема оценки качества консервов;
- результаты цифрового моделирования управления процессами тепловой обработки с прогнозирующими моделями, с применением нейросетевых прогнозирующих регуляторов, а также ПИД-регулятора с нечеткой коррекцией коэффициентов.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность и обоснованность теоретических выводов и практических результатов, полученных в работе, подтверждается корректным использованием методов исследования, результатами апробирования разработанных алгоритмов на общедоступных данных, публикацией научных трудов, а также сравнительным анализом результатов с известными результатами современных исследований и разработок.

Результаты исследований отмечены дипломами, сертификатами и медалями X Московского международного салона инноваций и инвестиций (Москва, 2010, золотая медаль), XVIII Московского международного Салона изобретений и инновационных технологий «Архимед» (Москва, 2015, серебряная медаль). Отдельные этапы работ были выполнены в рамках научно-исследовательской работы по госбюджетным темам «Комплексная модернизация систем контроля и управления процессами стерилизации и копчения» и «Разработка и совершенствование технологий стерилизованных пищевых продуктов».

Основные научные положения и ключевые результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на конференциях различного уровня.

Личное участие автора. Диссертационная работа является обобщением научных исследований, проведенных в 2006-2022 гг. лично автором и при его непосредственном участии в качестве руководителя, ответственного исполнителя или исполнителя научно-исследовательских работ.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 152 научных работах, 1 учебном пособии, 21 статье, опубликованных в ведущих российских научных периодических изданиях, включенных в Перечень ВАК при Минобрнауки РФ для публикации результатов диссертационных исследований, а также 5 статьях в изданиях, рецензируемых в международных базах данных (Scopus и WOS); получено 27 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ, пять патентов РФ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения и шести глав, включающих обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы, результаты собственных исследований, заключение, список литературы и приложения. Основной текст работы изложен на 306 страницах

компьютерного текста, содержит 39 таблиц и 152 рисунка. Список литературных источников включает 247 наименований, в том числе 60 – иностранных авторов.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ проведен аналитический обзор литературы в области тепловой обработки пищевых продуктов. Научно-исследовательская работа по разработке автоматизированных систем управления процессами тепловой обработки пищевых продуктов является актуальной задачей в интересах развития рыбной промышленности Российской Федерации, что находит отражение в «дорожной карте» НТИ FoodNet, стратегии развития рыбной промышленности России, стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы.

Анализ технологических процессов тепловой обработки рыбной продукции показал, что существует множество проблемных вопросов, которые требуют решения. Проведение модернизации систем автоматического управления процессами позволяет решить основную часть проблем, связанных с эффективностью оборудования и качеством выпускаемой продукции.

В настоящее время в зарубежных источниках литературы упоминается внедрение переменных режимов тепловой обработки в производство. Эффект от внедрения таких режимов оценивается как высокий, а сам подход как наиболее перспективный при совершенствовании процессов.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ описаны объекты и методы исследования, условия и организация экспериментов. Приведена программно-целевая модель исследований, представленная на рисунке 1.

Объектами исследования являются системы автоматического управления стерилизационной установки АВК-30М, промышленного автоклава ASCAMAT-230, термографы Thermochron iButton серии DS1922T и Ellab TrackSense PRO, универсальная коптильно-сушильная установка (УКСУ), малогабаритная сушильная установка УПОР-М (модернизированная установка поиска оптимальных режимов).

Рассмотрены методы исследования объектов и систем автоматического управления, а также методы разработки систем управления с прогнозированием (MPC) и систем управления с нейросетевым контроллером с прогнозированием.

Рассмотрены методы разработки моделей тепловых процессов автоклава для тренажера процесса стерилизации консервов. Адекватность математических моделей оценивалась на основании сравнения выходных значений модели и реального процесса и их спектров при одинаковых входных воздействиях.

Тренажер процесса стерилизации консервов является прототипом «цифрового двойника» процесса стерилизации. Согласно ГОСТ 57700.37-2021 цифровой двойник изделия – это система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями.

В качестве объекта математического моделирования в «цифровом двойнике» используется автоклав Н2-ИГА-602. В систему управления автоклава входят датчики дискретного типа: наличия верхнего уровня воды; наличия воды;

наличия пара; наличия воздуха; состояния открытия крышки. Исполнительными механизмами системы управления являются: клапан подачи охлаждающей воды; клапан спуска; клапан слива; клапан подачи пара; клапан подачи воздуха.



Рисунок 1 – Программно-целевая модель исследования

Автоклав в имитационной модели имеет вид системы взаимодействующих объектов: корпуса аппарата, тары с сырьем, воды, пара и воздуха, подаваемых из соответствующих магистралей.

Все объекты, кроме стерилизационной камеры, в имитационной модели описываются как элементы с сосредоточенными параметрами. Масса, теплоемкость и температура объектов рассчитываются отдельно и дискретно по времени. В расчетной схеме обозначены теплота, передаваемая от паровоздушной смеси продукту ($Q_{\text{пвс.пр}}$) и от воды продукту ($Q_{\text{вода.пр}}$); теплота, которой обмениваются паровоздушная смесь и вода ($Q_{\text{пв.вода}}$); теплота, отводимая от аппарата в окружающую среду ($Q_{\text{к.окр}}$); теплота, передаваемая от паровоздушной смеси корпусу ($Q_{\text{пвс.к}}$) и от воды корпусу ($Q_{\text{вода.к}}$).

Для имитации взаимодействия оператора с автоклавом создано программное обеспечение «Модель автоклава». В программе проводится математический расчет расхода теплоты при добавлении продукта в стерилизационный аппарат, при отсутствии герметичности крышки стерилизатора. Расчетное положение датчика температуры и давления аппарата

соответствует местам установки датчиков температуры и давления промышленных автоклавов.

Предложен способ управления тепловой обработкой консервов, основанный на прогнозировании F-эффекта. Способ предусматривает определение прогнозируемого значения фактической летальности (F-эффекта) процесса тепловой обработки (пастеризации или стерилизации) консервов при помощи измерения температуры среды автоклава датчиком и математического моделирования динамики температуры пищевого продукта в консервной таре (виртуального датчика продукта); вычисление разности между прогнозируемым фактическим значением и заданным значением эффекта тепловой обработки. В зависимости от этой разности осуществляют термообработку продукта до достижения прогнозируемым значением фактической летальности заданного значения, после чего выполняют этап охлаждения консервов, согласно режиму.

Схема контура управления температурой в стерилизационной камере автоклава по предлагаемому способу представлена на рисунке 2. При таком подходе к управлению процессом определяют прогнозируемое значение фактической летальности включения процесса $F_{\text{факт}}^n$ на основе температуры среды и имитационной модели. Достоверность прогнозируемого значения $F_{\text{факт}}^n$ фактической летальности (F-эффекта) процесса термообработки консервов, определяемой предложенным способом, обеспечивается проработкой и адекватностью имитационной модели, используемых методик, базирующихся на современной теории автоматического управления.



Рисунок 2 – Схема контура управления температурой в стерилизационной камере автоклава

Предложенный способ позволяет уменьшить затраты (за счёт снижения продолжительности стерилизации) на производство при проведении процесса тепловой обработки консервов и повысить эффективность процесса в сравнении с эффективностью способа управления по F-эффекту на 15-20 %, о чем свидетельствуют кривые температур в стерилизационной камере и банке, фактического стерилизующего эффекта и энергозатрат при проведении процесса тепловой обработки по модернизированному способу и по предлагаемому способу управления тепловой обработкой консервов, основанному на прогнозировании F-эффекта.

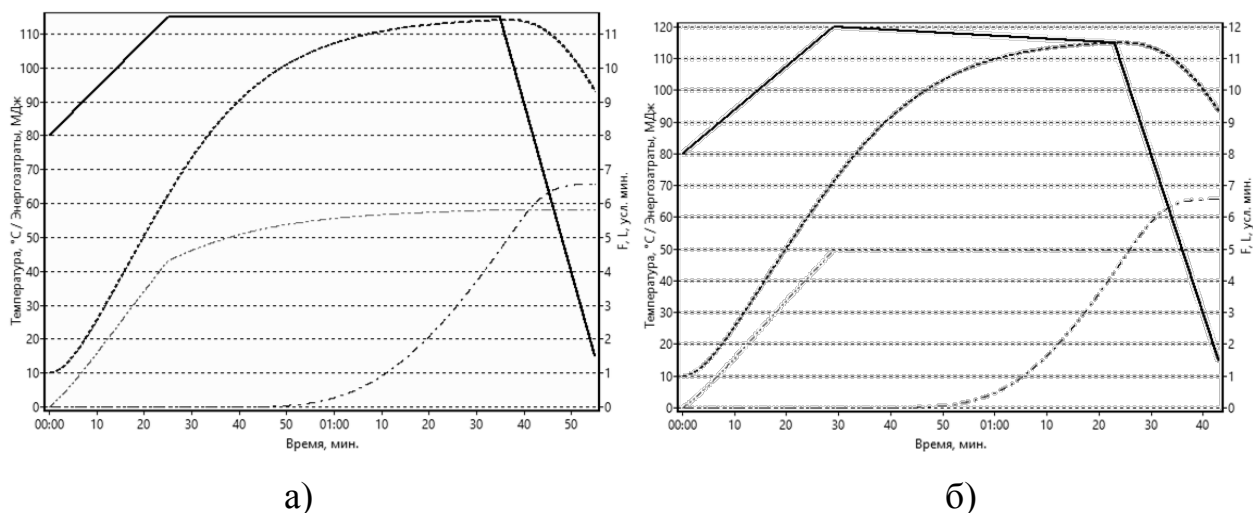


Рисунок 3 – Графики температур, F-эффекта и энергозатрат при проведении стерилизации по способу управления по F-эффекту (а) и по предлагаемому способу (б)

Предложен способ управления тепловой обработкой при обезвоживании и копчении пищевых продуктов с прогнозированием H-эффекта.

Известен переменный способ обезвоживания сырья, который позволяет реализовать наибольший темп обезвоживания за счет применения пунктирного обезвоживания. Таким образом, темп обезвоживания при таком способе является характеристикой качества проведения процесса.

Предлагаемый способ управления тепловой обработкой при обезвоживании и копчении в качестве критерия эффективности проведения процесса использует понятие H-эффекта. H-эффект (эффект обезвоживания) – интегральный критерий обезвоживания сырья, который позволяет оценить степень обезвоживания на данном этапе процесса. Эффект обезвоживания оценивается как степень влияния влагосодержания среды на влагосодержание продукта. При этом режимы релаксации при пунктирном обезвоживании являются составляющими H-эффекта. При релаксации (отлежке) прекращается тепловая обработка, при этом влагосодержание среды позволяет продукту обеспечить выход влаги из внутренних слоев. Оценку H-эффекта можно проводить на основании данных о потере массы продукции (датчик веса) при обезвоживании при известных данных о влагосодержании среды (датчик температуры и влажности).

$$H(\tau) = \int_0^{\tau_{end}} 10^{\frac{d(\tau)-d_n}{x}} d\tau. \quad (1)$$

где $H(\tau)$ – эффект обезвоживания, усл. мин.; τ_{end} – время окончания процесса, мин; $d(\tau)$ – временная зависимость влагосодержания в сушильной установке; x – константа влагопотери конкретной продукции; d_n – нормативное влагосодержание, принятое в качестве базисного для процесса термообработки, °С.

При известных данных о темпе обезвоживания (кривая кинетики сушки) и качестве готовой продукции при непрерывном режиме можно создать такой переменный режим с профилем температуры и влагосодержанием, который наилучшим образом по энергозатратам и качеству продукции обеспечит

проведение процесса, то есть позволит прогнозировать значение Н-эффекта. Наряду с применением Н-эффекта (который может быть оценен с помощью тепловизионной матрицы) возможно применение эффекта готовности продукта при обезвоживании (С-эффект) по органолептическим показателям и внешнему виду. Такой эффект может быть определен с помощью систем технического зрения с применением алгоритмов искусственного интеллекта. Сопряжение систем технического зрения с тепловизионной матрицей с датчиками веса продукта и счетчиками энергии позволит определить эффективность процесса обезвоживания.

ТРЕТЬЯ ГЛАВА посвящена результатам исследований тепловой обработки пищевых продуктов в автоклавах. Рассмотрены традиционный и модернизированный способы стерилизации консервов. При проведении процесса по модернизированному способу необходимо получение оптимальной формулы стерилизации. Формула стерилизации оптимизирована по критерию минимальных затрат на управление процессом с учетом ограничений. Критерий для получения оптимальной формулы стерилизации имеет следующий вид:

$$J = \int_0^{\tau} (Q(\tau)) \cdot dt + K_1 \cdot (115 - t_{st.fin})^n + K_2 \cdot (L_{sp} - L_{fin})^m \rightarrow min, \quad (2)$$

где K_1, K_2 – весовые коэффициенты; L_{sp} – заданное значение фактического стерилизующего эффекта, L_{fin} – значение фактического стерилизующего эффекта по окончании процесса; n и m – показатели степени при штрафных величинах; $Q(\tau)$ – энергозатраты.

Полученная оптимальная формула стерилизации имеет следующий вид:

$$\frac{16,5 - 9 - 23 - 16,5 - 20}{120 - 115} 0,19 - 0,16 \quad (3)$$

Моделирование процесса стерилизации консервов при применении модернизированного способа осуществлялось в среде Matlab для разработанного режима стерилизации. Эксперименты подтвердили адекватность математического описания процесса. Отклонение результатов численного моделирования от результатов эксперимента не превышает 5 % на участках температур более 90 °С. Вычисленное значение F-эффекта эквивалентно экспериментальному и заданному для процесса (6,7 усл. мин.).

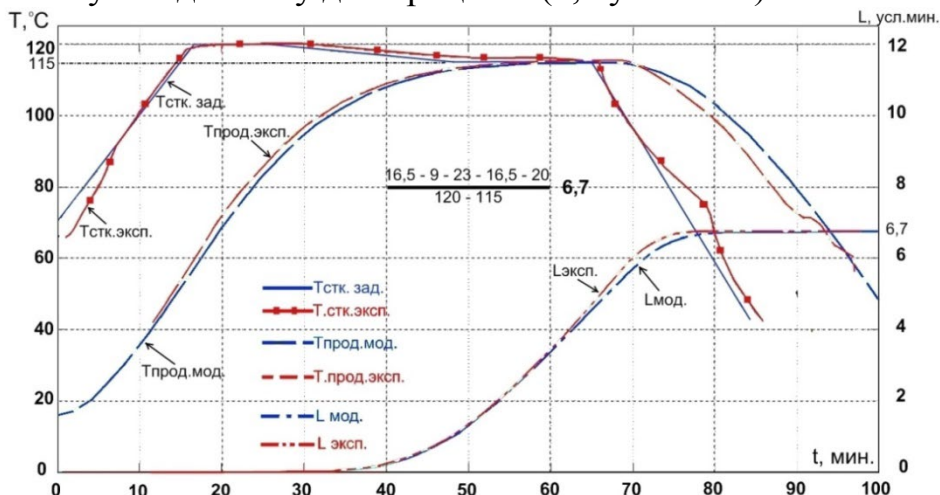


Рисунок 4 – Результат моделирования и экспериментов оптимального модернизированного способа стерилизации.

Сравнение результатов моделирования (рисунок 5) способов стерилизации показывает уменьшение продолжительности на 8,33 мин (на 8,9 %) и на сокращение энергопотребления на процесс на 20 % (на 0,69 кВт*ч).

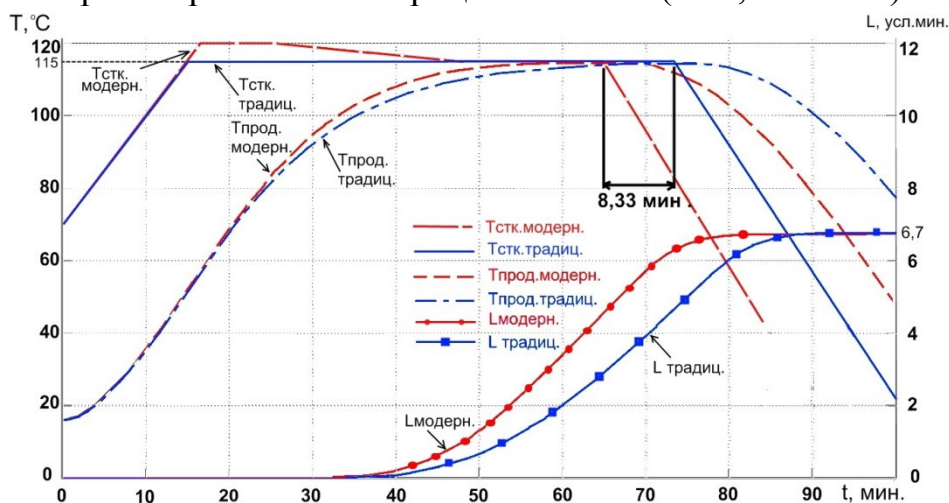


Рисунок 5 – Результаты моделирования традиционного и модернизированного способов стерилизации.

Сопоставление режимов модернизированного и традиционного способов стерилизации консервов позволило подтвердить одно из главных преимуществ разработанного способа – снижение энергозатрат на процесс. Основным отличием модернизированного способа стерилизации консервов является новый современный подход к реализации самого процесса. F-эффект при таком подходе является основным регулируемым и контролируемым параметром системы управления. Именно такой подход получил патентное подтверждение (патент на способ управления процессом стерилизации консервов, основанный на F-эффекте № 2471387, по заявке на изобретение №201112405/13(035554) от 14.06.2011 г.).

ЧЕТВЕРТАЯ ГЛАВА посвящена практической реализации результатов исследований тепловой обработки водных биоресурсов Арктики в автоклавах.

Описан процесс цифрового моделирования и оптимизации процесса термической обработки консервов. Проведена разработка предварительного режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" и "Печень трески по-мурмански" на основе разработанных математических моделей процесса. Обосновано применение моделирования режимов тепловой стерилизации для улучшения показателей качества консервной продукции. Цифровое моделирование процессов стерилизации и пастеризации пищевых продуктов в автоклаве включает в себя следующие этапы:

1. предварительный подбор параметров режима стерилизации консервов с помощью программного обеспечения PRSC «Подбор режимов стерилизации консервов»;
2. проведение предварительного пробного процесса тепловой обработки консервов в автоклаве;
3. сбор информации о температуре в стерилизационной камере автоклава и банке с продуктом с помощью логгеров;

4. определение трех передаточных функций для численной математической модели продукта;
5. определение передаточной функции с наименьшей прогреваемостью и использование ее параметров для численной математической модели продукта;
6. определение параметров численной математической модели аппарата;
7. определение длительности нагрева, стерилизации, охлаждения и температуры среды в стерилизационном аппарате;
8. построение температуры в стерилизационной камере аппарата, температуры продукта и F-эффекта в табличном и графическом виде.

Проведено моделирование по предложенному в 2 главе способу управления тепловой обработкой консервов, основанном на прогнозировании значения F-эффекта при разработке переменных режимов тепловой обработки (ВРТО) консервов. Предложены формы записи таких режимов тепловой обработки.

Применение переменного режима тепловой обработки продукта требует задания для системы управления автоклавом коэффициентов математической модели (передаточной функции). При получении коэффициентов решается ряд задач: 1) получение численной математической модели продукта в виде коэффициентов передаточной функции; 2) составление математических моделей (передаточных функций), описывающих желаемую динамику этапов нагрева и охлаждения среды автоклава, на основе желаемого значения фактической летальности процесса тепловой обработки (F-эффекта) и других критериев. Для получения численной математической модели продукта в виде коэффициентов передаточной функции сначала экспериментально определяют модель продукта в консервной таре. Для этого измеряют температуру продукта в наименее прогреваемой точке консервной тары, находящейся в наименее прогреваемой области температурного поля стерилизационной камеры автоклава на протяжении всего процесса тепловой обработки консервов. Далее выполняют моделирование процесса. Вторая задача решается с использованием передаточных функций апериодических звеньев второго порядка, которые используются для описания температурной динамики среды автоклава при нагреве и естественном охлаждении и представлены в формулах:

$$W_h(p) = \frac{T_{hm}}{\tau_h^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \varepsilon \cdot \tau_h \cdot p + 1}, T_0 \quad (4)$$

$$W_{n_c}(p) = \frac{T_{n_c}}{\tau_c^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \varepsilon \cdot \tau_c \cdot p + 1}, T_{hm} \quad (5)$$

где T_{hm} – температура среды непосредственно процесса пастеризации или стерилизации, °С; τ_h – постоянная времени этапа нагрева, мин; p – оператор Лапласа; ε – коэффициент ($\varepsilon \geq 1$); T_0 – начальная температура среды автоклава, °С; T_{n_c} – температура среды автоклава в конце этапа естественного охлаждения, °С; τ_c – постоянная времени этапа охлаждения, мин.

Поскольку этап охлаждения продукта осуществляется водой, то автоклав как объект управления претерпевает структурные изменения, вследствие чего изменяется его передаточная функция. Для описания динамики температуры

среды автоклава на этапе охлаждения, более применима модель интегрирующего звена с инерционностью:

$$W_c(p) = \frac{T_c}{\tau_c \cdot p \cdot (T \cdot p + 1)}, T_{hm} \quad (6)$$

где T_{hm} – температура среды в конце этапа охлаждения, °С; τ_c – постоянная времени этапа охлаждения, мин; p – оператор Лапласа; T – постоянная времени, определяющая инерционную составляющую, мин; T_c – температура среды непосредственно процесса пастеризации или стерилизации, °С.

Применение предложенного математического описания ВРТО рассмотрено на примере получения режима для консервов «Форель в оливковом масле с добавлением маринованного ананаса» в жестяных банках № 2 (масса нетто продукта 170 г.). Экспериментально подобраны коэффициенты передаточной функции для модели продукта и традиционный режим тепловой обработки (ТРТО), соответствующего нормативному F-эффекту (рисунки 6 и 7, таблица 1). В рамках исследования подобраны передаточные функции для математического описания ВРТО, с учетом сохранения значения F-эффекта, полученного для традиционного режима тепловой обработки (ТРТО).

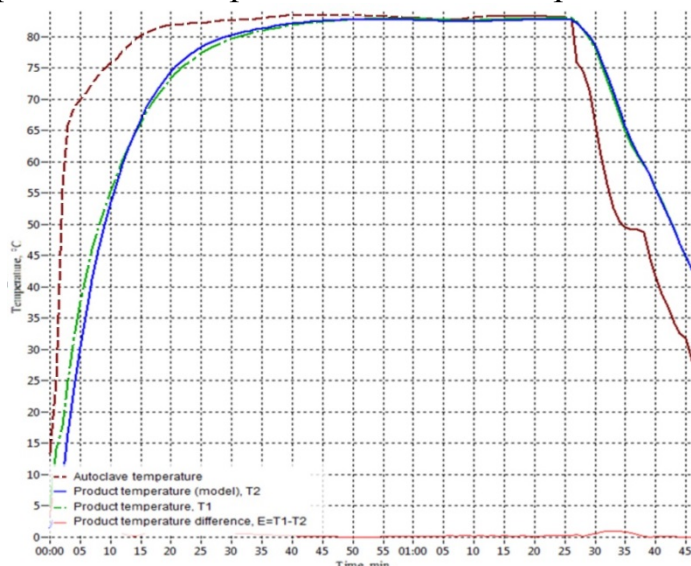


Рисунок 6 – Графики температуры при подборе математической модели продукта

Таблица 1 – Коэффициенты модели продукта и ТРТО и математическое описание ВРТО.

Модель продукта, $W_{пр}(p)$	$\frac{1}{420 \cdot p + 1}$
Оптимальный ТРТО	$\frac{25 - 60 - 20}{85^\circ C}, 100,0$ усл. мин
Этап нагрева	$\frac{85}{72000 \cdot p^2 + 900 \cdot p + 1}^{60}$
Естественное охлаждение	$\frac{85}{28000 \cdot p^2 + 600 \cdot p + 1}^{85}$
Этап охлаждения	$\frac{40}{31680 \cdot p^2 + 360 \cdot p}^{85}$

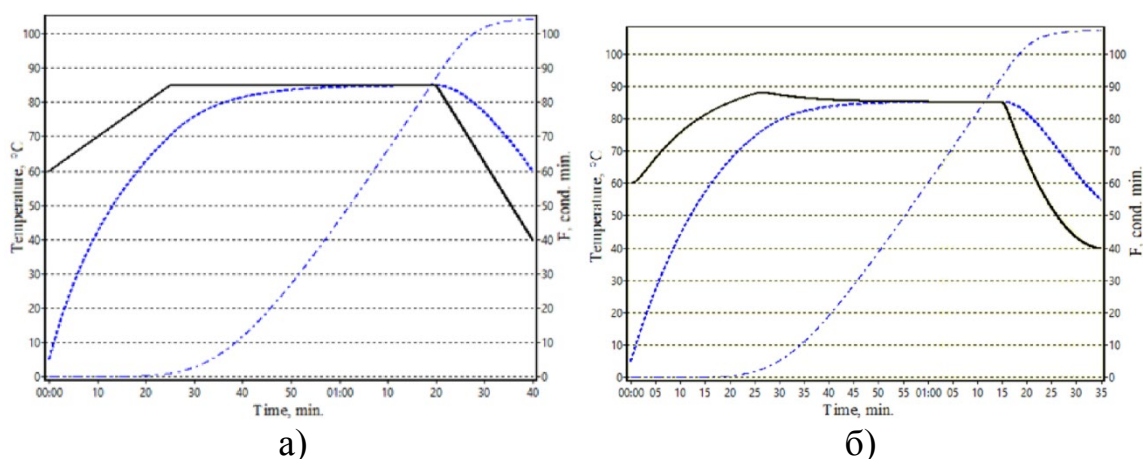


Рисунок 7 – Графики ТРТО (а) и ВРТО (б) подобранные для исследуемого продукта.

С использованием полученного из таблицы 1 описания ВРТО проведено моделирование режима в программе Thermal process modeler (рисунок 7).

Применение ВРТО позволило: 1) сократить время процесса на 5 минут (5 % от времени ТРТО) за счет незначительного превышения температуры непосредственно процесса тепловой обработки при начальном нагреве среды в стерилизационной камере автоклава; 2) обеспечить сохранение качества готового продукта (температура в течение всего процесса не превышает температуру непосредственно тепловой обработки); 3) сократить энергозатраты (для автоклава АСКМАТ-230 – 0,4 МДж или 1 % по сравнению с ТРТО) при сохранении значения фактического F-эффекта. Сравнение полученных данных с другими исследованиями показывает отсутствие значительного сокращения общего времени процесса и энергозатрат по сравнению с ТРТО. Предложенное математическое описание ВРТО реально описывает динамику среды в стерилизационной камере промышленного автоклава, а значит, может быть использовано как основной инструмент для прогнозирования значения F-эффекта при совершенствовании существующих или разработке новых режимов тепловой обработки.

При разработке новых режимов стерилизации консервов для автоклавов типа ASCAMAT 230, используемых на морских судах возникают сложности с проведением экспериментов. Для упрощения процедуры разработки режимов предложена методика применения лабораторного автоклава АВК-30М для имитационного моделирования режимов стерилизации промышленного автоклава фирмы ASCA.

В экспериментальной части исследования проведены процессы стерилизации с целью уточнения зависимостей температуры на разных этапах процесса стерилизации автоклава АСКМАТ 230. На основании полученных данных проведена модернизация системы автоматического управления исследовательского автоклава АВК-30М.

Эксперименты, проведенные для оценки использования предложенной методики показали сокращение затрат электроэнергии на 85 %, а расхода сырья – на 90 % для одной пробной варки, так как объем стерилизационной камеры

автоклава АВК-30М и потребление энергии в 7 раз меньше, чем промышленного автоклава ASCAMAT 230 при выполнении идентичного процесса стерилизации.

Предложена методика «цифровой сертификации» режимов стерилизации консервной продукции с применением «цифровых двойников»:

1. экспериментальное исследование автоклава на всех этапах процесса стерилизации с целью получения «цифрового двойника»;
2. модернизация программного обеспечения системы автоматического управления лабораторного автоклава для обеспечения адекватного имитационного моделирования процессов исследуемого автоклава;
3. проведение процессов стерилизации в лабораторном автоклаве с применением «цифрового двойника» исследуемого автоклава;
4. получение режимов стерилизации в лабораторном автоклаве по методике цифрового моделирования процессов тепловой обработки;
5. «цифровая сертификация» режимов стерилизации (объединение результатов численных экспериментов и результатов реальных варок с полным обоснованием адекватности моделей и гарантией обеспечения микробиологической безопасности режимов);
6. проведение процессов стерилизации на исследуемом автоклаве с режимом стерилизации, прошедшим «цифровую сертификацию» для подтверждения корректности и адекватности;
7. утверждение режимов стерилизации, подобранных по методике «цифровой сертификации».

Разработка технологических режимов может быть представлена в виде процесса проектирования. Следовательно, программные средства, применяемые при проектировании, можно называть системами автоматизации проектирования режима. Одним из примеров таких систем является программа PRSC.

Разработаны модели тепловых процессов автоклава для «цифрового двойника» процесса стерилизации консервов. Получена математическая модель процесса стерилизации, которая реализована в приложении «Модель автоклава». Параметры полученной модели оценивались по результатам сравнения с экспериментальными данными. Численное математическое моделирование процесса стерилизации консервов показало высокое качество полученных моделей процессов. Расчетные схемы, полученные в результате создания математических моделей, использованы для разработки программно-аппаратного комплекса тренажера процесса стерилизации.

ПЯТАЯ ГЛАВА посвящена практической реализации результатов исследований тепловой обработки водных биоресурсов Арктики в коптильно-сушильных установках.

Предложена новая система автоматического управления универсальной коптильно-сушильной установки, а также функциональная схема автоматизации УКСУ (рисунок 8).

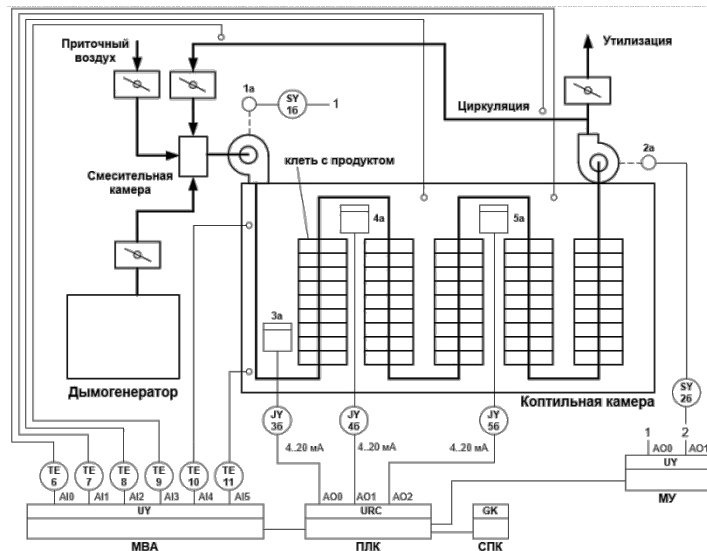


Рисунок 8 – Функциональная схема автоматизации системы автоматического управления

Проведено моделирование системы автоматического управления процессом копчения пищевых продуктов в среде MatLab. Структурная схема САУ процесса копчения представлена на рисунке 9.

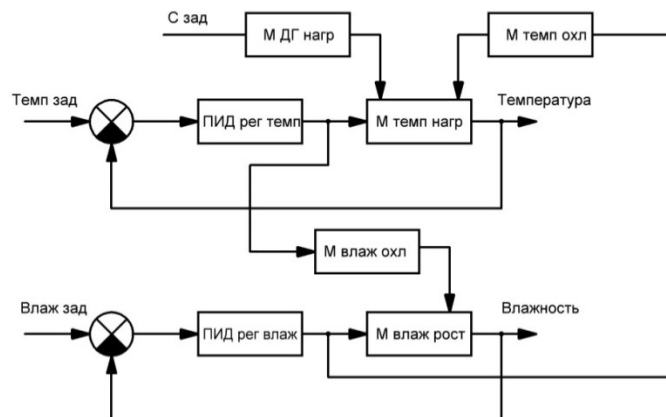


Рисунок 9 – Структурная схема системы управления на основе ПИД-регуляторов

На структурной схеме представлены 2 контура регулирования температуры и влажности процесса копчения. Контуров являются взаимосвязанными и оказывают взаимное влияние. В схеме выходные сигналы контуров оказывают воздействие в качестве возмущения. Также преимущественно на контур регулирования температуры оказывает влияние тепловой поток от дымогенератора. Это влияние отражено на схеме в виде дополнительного канала по возмущению на контур температуры.

Проведена идентификация параметров математической модели контуров системы автоматического управления процессом копчения пищевых продуктов.

Структурная схема составлена на основе полученных передаточных функций контуров управления температуры и влажности в коптильной камере. Задающие воздействия на контуры регулирования установлены на уровне 20 градусов Цельсия и 50% относительной влажности, что является типичными заданиями систем автоматического управления при холодном копчении. В

структурной схеме воздействие от дымогенератора подается в качестве случайного возмущения с интервалом 100 модельных расчетных единиц.

Оценена эффективность работы ПИД-регулятора при изменении коэффициентов модели. Определено, что изменение коэффициентов математических моделей M темп нагр, M ДГ нагр, M темп охлад, M влаж рост, M влаж спад в пределах 30 % изменяет эффективность настроек ПИД-регулятора по интегральной оценке J , рассчитываемой как интеграл суммы квадрата от рассогласования и квадрата от управления. При изменении коэффициентов моделей до 30%, также до 30% изменяется качество управления процессом. Вариантами продолжения исследования может быть создания адаптивной САУ процессом копчения с наблюдателем или реализация предиктивного управления на базе МРС-регуляторов.

Предложена иерархическая структура системы автоматического управления процесса копчения пищевых продуктов. Иерархическая структура системы управления процессом копчения пищевых продуктов представлена на рисунке 10 (уровни 2-4).

Выходным параметром модели является качество готовой копченой продукции, которое определяется температурно-влажностными режимами процесса копчения, а также его жесткостью. Модель оценки качества продукции является первым уровнем иерархии модели и реализована в виде нечеткого логического вывода качества продукции в зависимости от входных значений температуры, влажности, жесткости режима и технических средств оценки качества продукта.

Вторым уровнем иерархии являются локальные системы автоматического регулирования температуры и влажности в процессе копчения пищевой продукции.

Третий уровень иерархии представлен формирователями задания. Данный процесс обладает перекрестными связями и отличается наличием случайных возмущений. Регуляторы с прогнозированием на данном уровне формируют задания для локального уровня регулирования температуры и влажности. Также на уровне формирования задания учитывается многосвязность в формировании управляющих воздействий в зависимости от случайных возмущений в других контурах управления. Управляющее воздействие одного контура принято возмущающим воздействием другого контура системы автоматического управления.

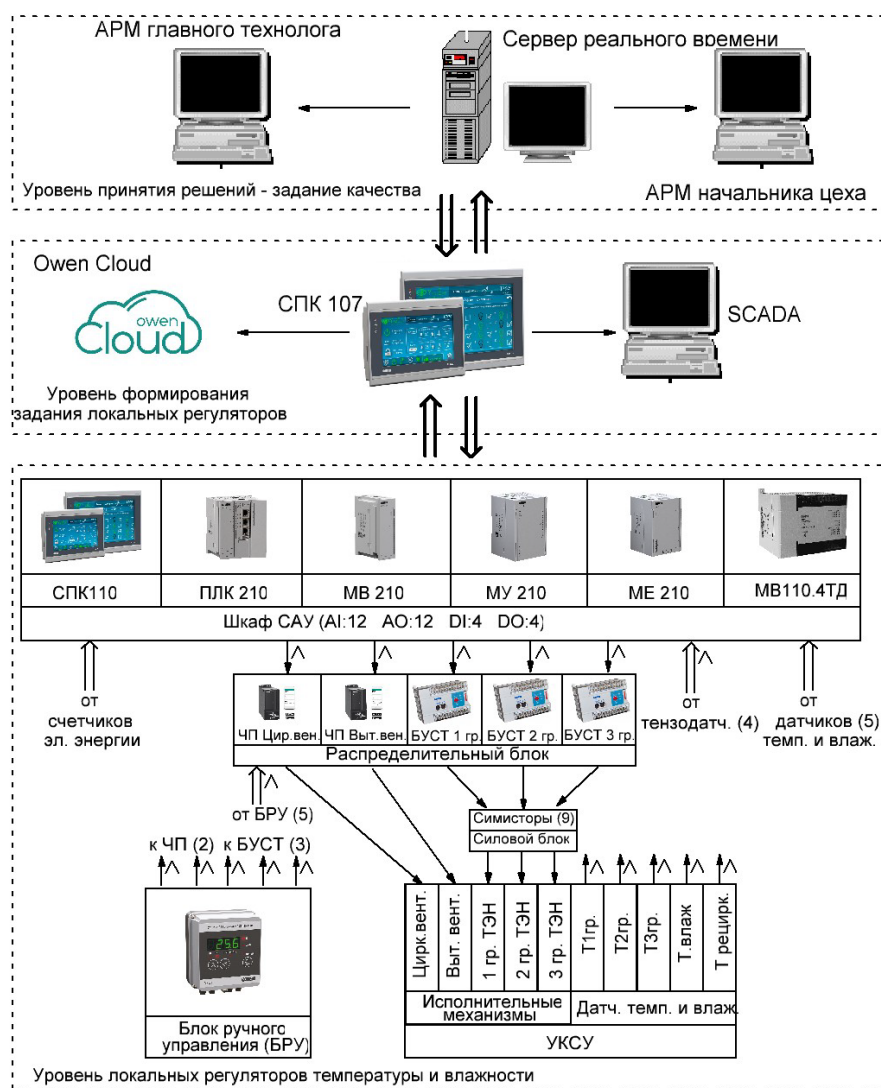


Рисунок 10 – Иерархическая структура системы автоматического управления процесса копчения пищевых продуктов

На четвертом уровне иерархии формируется качество управления процессом копчения пищевых продуктов. На данный уровень поступает информация о текущих значениях регулируемых параметров и текущем качестве продукции. При текущем снижении качества готовой продукции, блок формирования качества управления технологическими параметрами расширяет диапазон значений задания температур и влажности процесса копчения, а также корректирует динамику работы системы. При текущем повышении качества готовой продукции, на третий уровень поступают задания для регуляторов, оптимальные по критерию минимальных энергозатрат на процесс управления. В уровне формирования качества управления процессом реализован алгоритм нечеткого логического вывода коэффициентов модели схемы в зависимости от режимов работы системы. Для этого проводится оценка текущего управляющего воздействия на исполнительные механизмы коптильно-сушильной установки, нечеткий логический вывод в зависимости от текущего управления в процессе, конкатенация коэффициентов модели и, как следствие, коррекция параметров моделей в контурах регулирования температуры и влажности в процессе копчения.

Описана система автоматического управления УКСУ в виде многоконтурной системы

В исследуемой системе выделены 7 контуров управления:

- контур А1 управления 1 группой ТЭН;
- контур А2 управления 2 группой ТЭН;
- контур А3 управления 3 группой ТЭН;
- контур А4 управления вытяжным вентилятором по влажности;
- контур А5 управления группами ТЭН по влажности;
- контур А6 управления циркуляционным вентилятором по температуре;
- контур А7 управления дымогенератором.

Контур в ходе эксплуатации универсальной коптильно-сушильной установки совместно решают взаимосвязанные задачи:

- регулирование температуры и влажности в установке;
- регулирование потока дымовоздушной смеси;
- управление качеством продукции.

В процессе эксплуатации коптильно-сушильной установки при загрузке влажного сырья, включаются контуры А1-А3 для поддержания температуры в камере, А6 для поддержания потока дымовоздушной смеси. Контур А4 и А5 изменяют производительность своих исполнительных механизмов для обеспечения требуемой влажности в камерах установки.

При эксплуатации коптильно-сушильной установки включается контур А7 для копчения сырья. Контур А1-А3 изменяют мощность исполнительных механизмов для поддержания температуры в камере.

При эксплуатации коптильно-сушильной установки включается контур А6, который в соответствии с режимом изменяет производительность циркуляционного вентилятора для поддержания другого значения потока дымовоздушной смеси. Контур А1-А3 изменяют мощность исполнительных механизмов для поддержания температуры в камере. Контур А4 и А5 изменяют мощность исполнительных механизмов для обеспечения требуемой влажности в камерах установки для копчения сырья.

Проведение опытов по разработке энергоэффективных режимов обезвоживания сырья на УКСУ является достаточно затратным процессом. Поэтому предлагается использовать установку УПОР-М меньших габаритов и с меньшим энергопотреблением. В ней предусмотрены четыре камеры, каждая со своей системой автоматического управления. УПОР-М позволяет одновременно проводить четыре эксперимента с различными параметрами для получения значений критерия оптимизации. За некоторое количество опытов будут получены требуемые характеристики режима релаксации.

Предложена методика «цифровой сертификации» энергоэффективных режимов обезвоживания сырья с применением «цифровых двойников», включающая этапы:

1. экспериментальное исследование сушильной установки с целью получения «цифрового двойника»;

2. модернизация программного обеспечения системы автоматического управления лабораторной установкой (например УПОР-М) для обеспечения адекватного имитационного моделирования процессов исследуемой установки;
3. проведение процессов обезвоживания в лабораторной установке (УПОР-М) с применением «цифрового двойника» исследуемой коптильно-сушильной установки;
4. получение энергоэффективных режимов обезвоживания сырья в лабораторной установке (УПОР-М);
5. «цифровая сертификация» режимов обезвоживания (объединение результатов численных экспериментов и результатов реальных процессов с полным обоснованием адекватности моделей);
6. проведение процессов обезвоживания на исследуемой установке с режимом обезвоживания, прошедшим «цифровую сертификацию» для подтверждения корректности и адекватности;
7. утверждение режимов обезвоживания, подобранных по методике «цифровой сертификации».

Разработана и модернизирована система автоматического управления малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов релаксации сырья, а также проведено ее математическое моделирование.

ШЕСТАЯ ГЛАВА посвящена исследованию систем управления процессами тепловой обработки водных биоресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий.

В рамках исследования и упрощения проведения процедуры органолептической оценки качества консервов разработана нечеткая экспертная система на примере консервов «Печень трески натуральная».

Нечеткая система использует правила логического вывода, которые сформулированы на основе базы знаний (рисунок 11). Для построения базы знаний использовался обобщенный опыт работников учебно-экспериментального цеха МГТУ.



Рисунок 11 – Нечеткая экспертная подсистема оценки качества консервов

Оценка параметров «Цвет жира», «Цвет печени», «Состояние продукта», «Консистенция» возможно провести с применением системы технического

зрения с реализацией алгоритмов нейронной сети по классификации состояний продукта. Параметры «Вкус» и «Запах» определяются экспертами и вносятся в систему в виде оценок.

Результатом работы нечеткой экспертной системы являются интегральная оценка качества консервов.

Для реализации полноценной оценки качества рыбной продукции с учетом входного контроля и измерений, предлагается нечеткая экспертная система оценки качества, представленная на рисунке 12.



Рисунок 12 – Нечеткая экспертная система оценки качества консервов

Автоматические измерения в такой системе возможно осуществить с применением датчиков, виртуальных сенсоров в процессе тепловой обработки сырья. Входной контроль качества сырья возможно произвести с применением систем технического зрения с применением алгоритмов распознавания образов и сравнением с эталоном. Входной контроль физико-химических показателей вводится в систему по результатам лабораторной проверки. Нормативный стерилизующий эффект является результатом расчета для данного продукта. Режим тепловой обработки вводится в систему для построения динамических характеристик процесса и оценки эффекта тепловой обработки.

Для процесса копчения пищевых продуктов предложено использовать систему автоматического управления с нейросетевым прогнозирующим регулятором. Для управления контуром температуры процесса копчения создана нейронная сеть, представленная на рисунке 13.

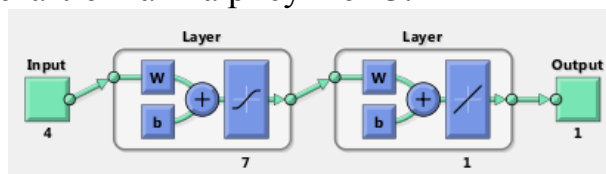


Рисунок 13 – Нейронная сеть для процесса копчения

Обучение нейронной сети производилось с применением Байесовского машинного обучения. Контур для обучения выбран в соответствии моделью, представленной на рисунке 14.

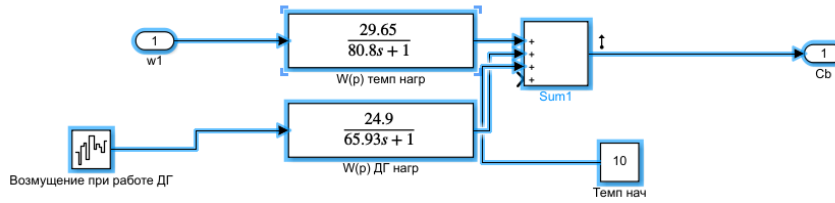


Рисунок 14 – Модель контура температуры для обучения нейронной сети

Обучение проводилось с помощью 1000 обучающих выборок с количеством обучающих эпох 300. Отклонение данных обучающей модели относительно идентифицированной модели с помощью нейронной сети составило $4,13 \cdot 10^{-7}$ и вычислялось как среднеквадратичное отклонение.

Нейросетевая модель прогнозирует динамику объекта на заданном интервале времени. Это позволяют определить управляющий сигнал, который минимизирует следующий критерий оптимальности по заданному горизонту:

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} ((y_r(t+j) - y_m(t+j)))^2 + \rho \sum_{j=1}^{N_u} (u'(t+j-1) - u'(t+j-2))^2 \quad (8)$$

где N_1 , N_2 , и N_u – горизонты, по которым определена ошибка управления; u' – управляющее воздействие с прогнозированием; y_r – реакция объекта управления; y_m – реакция нейросетевой модели; ρ – весовой коэффициент.

Для процесса обезвоживания пищевых продуктов также предлагается использовать систему автоматического управления с нейросетевым прогнозирующим регулятором.

Для управления контуром температуры процесса обезвоживания создана нейронная сеть с 8 входными слоями и одним выходным слоем.

Контур для обучения был выбран в соответствии моделью, представленной на рисунке 15.

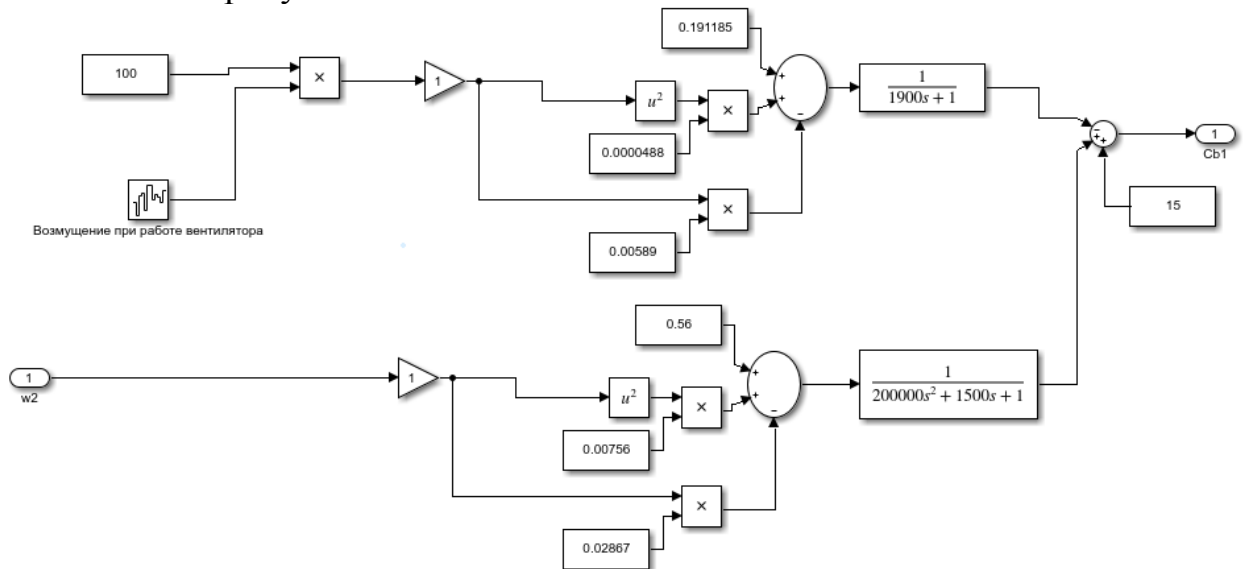


Рисунок 15 – Модель контура температуры для обучения нейронной сети

Обучение проводилось с помощью 10000 обучающих выборок с количеством обучающих эпох 1000. Отклонение данных обучающей модели относительно идентифицированной модели с помощью нейронной сети составило $2,37 \cdot 10^{-9}$ и вычислялось как среднеквадратичное отклонение.

В данной работе для процесса обезвоживания пищевых продуктов предлагается использовать систему автоматического управления с



Рисунок 17 – Нечеткая система коррекции коэффициентов ПИД-регулятора

Схема моделирования системы с применением ПИД-регулятора с нечеткой коррекцией коэффициентов контура температуры малогабаритной сушильной установки представлена на рисунке 18.

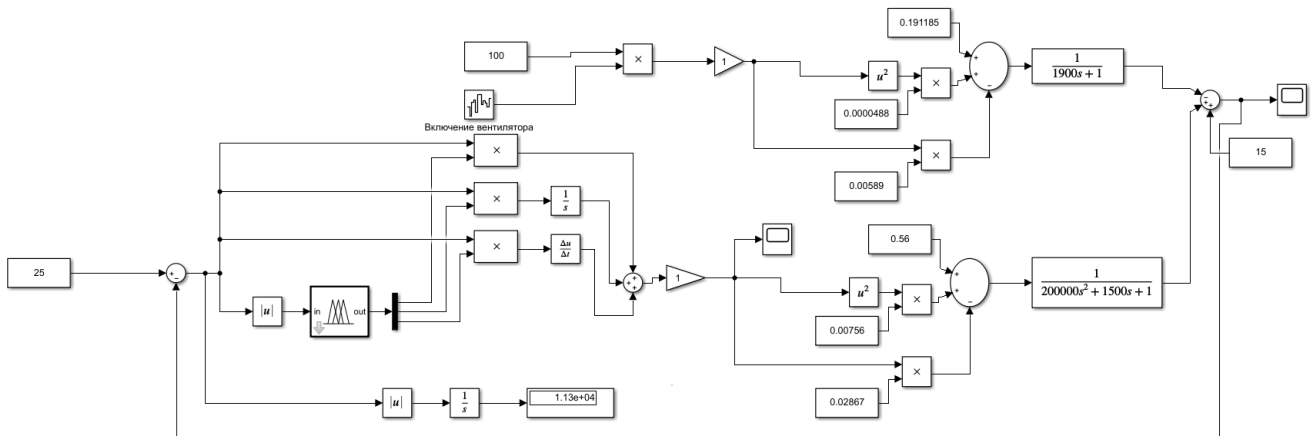


Рисунок 18 – Структурная схема при моделировании контура регулирования температуры с нечеткой системой коррекции коэффициентов ПИД-регулятора

Применение ПИД-регулятора с нечеткой коррекцией коэффициентов показало эффективность применения данного подхода к управлению. Развитием метода может быть коррекция коэффициентов с учетом анализа данных об изменении параметров математической модели.

Автор выражает благодарность за помощь в подготовке работы канд. техн. наук, профессору А.А. Маслову, доктору технических наук, профессору В.А. Гроховскому; доктору технических наук, профессору В.Н. Богатикову; доценту кафедры АиВТ канд. техн. наук А.Ю. Вискову, доценту кафедры АиВТ МГТУ, канд. техн. наук А.В. Власову, заведующей лабораторией кафедры АиВТ МГТУ Власовой А.Р., доценту кафедры АиВТ канд. техн. наук И.Ю. Селякову, заведующему лабораторией кафедры АиВТ А.В. Столянову, старшему преподавателю кафедры АиВТ А.А. Жук, старшему преподавателю кафедры АиВТ В.В. Ерещенко, а также сотрудникам кафедры ТПП МГТУ канд. техн. наук Л.К. Курановой, канд. техн. наук М.А. Ершову за помощь в проведении экспериментов.

Выводы

1. В настоящей работе исследованы методы тепловой обработки консервов и методики разработки режимов технологических процессов. Установлено, что существующие методы предварительного подбора режимов требуют значительных ресурсов при проведении экспериментальных исследований.
2. Разработаны способы управления тепловой обработкой рыбного пищевого сырья, позволяющие прогнозировать эффект обработки. Для процессов стерилизации и копчения таким эффектом является F-эффект. При проведении процессов обезвоживания и копчения рыбного сырья в качестве эффекта тепловой обработки предложен H-эффект. Такой интегральный критерий позволяет оценить степень обезвоживания на всех этапах процесса. При этом можно создать такой вариабельный режим обезвоживания или копчения с профилем температуры и влагосодержанием, который наилучшим образом по затратам энергии и качеству продукции обеспечит проведение процесса.
3. Проведено цифровое моделирование процессов тепловой обработки с различными продуктами из водных биоресурсов Арктики. Проверка на адекватность и корректность полученных математических моделей процессов показала их высокую степень соответствия реальным процессам. Отклонение экспериментальных данных процессов от результатов численного моделирования не превышает 5%. Моделирование процессов позволило получить новые технологические режимы тепловой обработки.
4. Процедура разработки режимов тепловой обработки может быть значительно упрощена при использовании технологии «цифровых двойников». Предложен термин «цифровая сертификация» режимов тепловой обработки, как совокупное исследование результатов численных экспериментов и результатов реальных технологических процессов с полным обоснованием адекватности моделей и гарантией обеспечения микробиологической безопасности режимов. Результатом «цифровой сертификации» является цифровой документ, подтверждающий соответствие качества продукции нормативной документации, безопасность для потребителя. В документе должны быть отражены режимы тепловой обработки, сроки их действия, нормативные документы для изготовления продукции. Применение «цифровых двойников» аппаратов (малогабаритных лабораторных установок с встроенными в систему управления имитационными моделями промышленных аппаратов) при проведении «цифровой сертификации» режимов тепловой обработки позволяет значительно сократить расходы сырья и энергии. Такой подход позволит ускорить внедрение технологий переработки рыбного сырья (в том числе при создании щадящих режимов обработки), соответствующих установленным требованиям за счет прогнозирования качества.
5. Спроектированы и созданы оптимальные по затратам энергии системы автоматического управления процессами тепловой обработки в автоклаве и коптильно-сушильной установке. Применение современных отечественных технических средств автоматизации позволило значительно повысить эффективность работы аппаратов.

6. Исследованы системы управления процессами тепловой обработки водных биоресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий. Применение прогнозирующих регуляторов показало эффективность работы контуров управления по температуре. Регуляторы эффективно отрабатывают задающее воздействие, а также эффективно подавляют возмущающее воздействие. Применение ПИД-регулятора с нечеткой коррекцией коэффициентов показало эффективность применения данного подхода к управлению. Развитием метода может быть коррекция коэффициентов с учетом анализа данных об изменении параметров математической модели.

7. Применение системы комплексных решений, предложенных в работе, позволяет сократить время на проектирование и производство конкурентоспособной продукции, что значительно ускорит вывод новых товаров из рыбного сырья на рынок, значительно снизит отходо- и энергоемкость производства, а также повысит его гибкость.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Учебное пособие

1. Маслов, А. А. Исследование систем автоматического регулирования на базе технических и программных средств автоматизации "Овен" : лаб. практикум : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений, обучающихся по направлению подгот. "Автоматизация технологических процессов и производств" / А. А. Маслов, А. В. **Кайчен**ов; Федер. агентство по рыболовству, ФГБОУ ВПО "Мурман. гос. техн. ун-т". - Изд. доп. и перераб. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 9,6 Мб). - Мурманск : Изд-во МГТУ, 2015.

Статьи в изданиях, рецензируемых в международных базах данных (Scopus и WOS)

2. Comparative analysis of temperature loggers used in the development of regimes for heat treatment of food production in autoclaves / A. Stolyanov, A. Zhuk, **A. Kaychenov**, L. Kuranova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Saint Petersburg, 17–18 апреля 2019 года. – Saint Petersburg: IOP Publishing, 2019. – P. 012031. – DOI 10.1088/1755-1315/302/1/012031.

3. Complex for modeling and optimization the sterilization process / A. Stolyanov, A. Zhuk, **A. Kaychenov** [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019, Rostov-on-Don, 10–13 сентября 2019 года. – Rostov-on-Don: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012016. – DOI 10.1088/1755-1315/403/1/012016. – EDN IVMGFP.

4. Development of an Autoclave Thermal Processes Model for the Simulator of Canned Food Sterilization Process / **A. Kaychenov**, A. Vlasov, A. Maslov [et al.] // International Applied Research Conference "Biological Resources Development and Environmental Management", Murmansk, 21 июня 2019 года. – Murmansk: Murmansk Marine Biological Institute, 2020. – P. 437-449. – DOI 10.18502/ks.v5i1.6103.

5. Software for calculating the actual lethality of canned food heat treatment processes: Development and application / A. Zhuk, A. Stolyanov, **A. Kaychenov** [et al.] // E3S Web of Conferences : 14th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2021, Rostov-on-Don, 24–26 февраля 2021 года. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. – DOI 10.1051/e3sconf/202127313002.

6. Stolyanov, A. Review advances of Automation and Computer Engineering Department in the field of canned food sterilization over the past decade / A. Stolyanov, A. Zhuk, **A. Kaychenov** // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 5th International Conference "Arctic: History and Modernity" 18-19 March 2020, Saint-Petersburg, Russia, Saint-Petersburg, 18–19 марта 2020 года. – Saint-Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012086. – DOI 10.1088/1755-1315/539/1/012086.

Публикации в изданиях, включенных в Перечень ВАК РФ:

7. Идентификация параметров численной математической модели стерилизационной камеры судового автоклава ASCAMAT 230 с целью разработки оптимальной системы автоматического управления / **А. В. Кайчен**ов, А. В. Власов, А. А. Маслов [и др.] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – № 1. – С. 7-17. – DOI 10.24143/2072-9502-2018-1-7-17.

8. Исследование влияния неоднородности температурного поля при продувке стерилизационной камеры автоклава на различие стерилизующих эффектов в банках / А.М. Ершов, Гроховский, А.А. Маслов, А.В. Власов, **А. В. Кайчен**ов // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 1. С. -. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v12_1_n34/articles/12_vlas.pdf.

9. Исследование температурного поля промышленного автоклава ASCAMAT-230 / А. Столянов, **А. Кайчен**ов, Л. Куранова, А. Маслов, В. Гроховский // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 3. С. 563-571. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v20_2_n72/07_Stoyanov_563_571.pdf.
10. Маслов, А. А. Исследование динамики теплообмена в стерилизационной камере автоклава / А. Маслов, А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов // Рыбное хозяйство. – 2009. – № 6. – С. 77-79. – EDN KZSECZ.
11. Оптимизация процесса стерилизации консервов в водной среде в автоклаве АВК-30М / **А. В. Кайчен**ов, А.А. Маслов, А.В. Власов, А.Р. Власова, А.И. Прыгунов // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 1. С. 049-053. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v15_1_n47/articles/049_053_kaychen.pdf.
12. Оценка энергоэффективности введения режимов релаксации на универсальной копильно-сушильной установке / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, **А. В. Кайчен**ов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2013. – № 6. – С. 111-115.
13. Повышение эффективности процесса получения копильных препаратов / А.А. Маслов, А.Р. Власова, А.В. Власов, В.В. Яценко, **А. В. Кайчен**ов, А.И. Прыгунов // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14, № 4. С. 685-689. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v14_4_n46/articles/685_689_maslo.pdf.
14. Предварительный подбор режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" на основе разработанных математических моделей процесса / А. Маслов, А. Столянов, **А. Кайчен**ов, Л. Куранова // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 4. С. 861-868. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v19_4_n68/23_Maslov_861_868.pdf.
15. Применение моделирования режимов тепловой стерилизации для улучшения показателей качества консервной продукции / А. Столянов, **А. Кайчен**ов, А. Маслов, А. Власов, В. Ерещенко // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 1. С. 110-116. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v18_1_n60/110_116_stolya.pdf.
16. Радиочастотные методы инвариантной уровнеметрии диэлектрических жидкостей в резервуарах / А. С. Совлуков, В. В. Яценко, **А. В. Кайчен**ов, А. М. Прохоренков // Датчики и системы. – 2021. – № 3(256). – С. 42-50. – DOI 10.25728/datsys.2021.3.5.
17. Разработка модели автоклава для тренажера процесса стерилизации / А. В. Власов, А. Р. Власова, **А. В. Кайчен**ов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 106-109.
18. Разработка математической модели малогабаритной установки для поиска оптимальных режимов / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, **А. В. Кайчен**ов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 108-113.
19. Разработка режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием средств вычислительной техники / **А. В. Кайчен**ов, А.В. Власов, А.А. Маслов, И.Ю. Селяков, А.Р. Власова // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 1. С. 46-52. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v17_1_n56/46_52_kayche.pdf.
20. Разработка технологии оценки состояния промышленных систем на основе показателя безопасности и принятие решений целеустремленного поведения агента / В. Н. Богатиков, А. А. Маслов, **А. В. Кайчен**ов [и др.] // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2013. – Т. 16. – № 4. – С. 654-662.
21. Реализация программы управления сушильной установкой для обеспечения комбинированных режимов обезвоживания с линейно изменяющимся временем релаксации рыбы / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, **А. В. Кайчен**ов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 126-128.
22. Совершенствование системы охлаждения абсорбционной установки / В. Похольченко, А. Иваней, А. Никонова, **А. Кайчен**ов // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 4. С. 869-877. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v19_4_n68/24_Pocholchenko_869_877.pdf.
23. Совершенствование способа стерилизации консервов из гидробионтов / **А. В. Кайчен**ов, В. А. Гроховский, А. А. Маслов [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2011. – № 3. – С. 112-113.
24. Совершенствование стерилизационной установки на базе модернизированного медицинского стерилизатора ВК-30 / А.А. Маслов, А.В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, А.Р. Власова, В.В. Яценко // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12, № 2. С. -. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v12_2_n35/articles/14_vlas.pdf.
25. Сопоставление модернизированного и традиционного способов стерилизации консервов / **А. В. Кайчен**ов, А.В. Власов, А.Р. Власова, В.А. Гроховский, Л.К. Куранова // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 3. С. 560-565. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v16_3_n53/560_565_kayche.pdf.
26. Способ оптимального управления температурой в автоклаве на основе регулятора "с предсказанием" / А.А. Маслов, А.В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, А.Р. Власова, В.В. Яценко // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14, № 3. С. -. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v14_3_n45/articles/13_maslo.pdf.
27. Экономичная методика разработки режимов стерилизации консервов из гидробионтов для промышленных автоклавов / А. Столянов, **А. Кайчен**ов, А. Власов, А. Маслов // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 4. С. 661-666. URL: http://vestnik.mstu.edu.ru/v18_4_n63/13_Stolyanov_661_666.pdf.

Патенты, свидетельства Роспатент о регистрации программ для ЭВМ

28. Патент № 2471387 С1 Российская Федерация, МПК А23L 3/00. Способ управления процессом стерилизации консервов, основанный на f-эффекте : № 2011124095/13 : заявл. 14.06.2011 : опубл. 10.01.2013 / В. А. Гроховский, А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет" (ФГОУВПО "МГТУ").

29. Патент на полезную модель № 129365 U1 Российская Федерация, МПК A23B 4/044. Устройство для получения копильного препарата : № 2012137763/13 : заявл. 04.09.2012 : опубл. 27.06.2013 / А. Р. Власова, А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, А. А. Маслов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет" (ФГБОУ ВПО "МГТУ").

30. Патент на полезную модель № 136962 U1 Российская Федерация, МПК A23B 4/03. Малогабаритная установка для поиска оптимальных технологических режимов сушки сырья : № 2013121893/13 : заявл. 13.05.2013 : опубл. 27.01.2014 / И. Ю. Селяков, **А. В. Кайчен**ов, А. А. Маслов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет".

31. Патент на полезную модель № 136963 U1 Российская Федерация, МПК A23B 4/044. Дымогенератор : № 2013126807/13 : заявл. 11.06.2013 : опубл. 27.01.2014 / А. Р. Власова, А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, А. А. Маслов ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет".

32. Патент на полезную модель № 94418 U1 Российская Федерация, МПК A23L 3/00, A23L 3/10. Стерилизационная установка : № 2010105537/22 : заявл. 16.02.2010 : опубл. 27.05.2010 / А. А. Маслов, А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов ; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мурманский государственный технический университет".

33. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ F_CHANGE для универсальной копильно-сушильной установки №2012611079, 26.01.2012г., Российская Федерация / **А. В. Кайчен**ов, А.А. Маслов, И.Ю. Селяков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

34. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ FILTER_FOR TEMP для универсальной копильно-сушильной установки №2012611076, 26.01.2012г., Российская Федерация / **А. В. Кайчен**ов, А.А. Маслов, И.Ю. Селяков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

35. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ MiSt.Reader_Owen (МИСт. Преобразование отчетов ОВЕН) №2008614098, 27.08.2008г., Российская Федерация / А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, А.А. Маслов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

36. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ MiSt. Подпрограмма «Блокировка» для АВК-30М №2011619192, 29.11.2011г., Российская Федерация / А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, А.Р. Власова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

37. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611784 Российская Федерация. Модуль расчета вспомогательных параметров в модели автоклава на шаге квантования : № 2015660198 : заявл. 27.10.2015 : опубл. 10.02.2016 / А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

38. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017612613 Российская Федерация. Modeller : № 2016661749 : заявл. 02.11.2016 : опубл. 01.03.2017 / А. В. Столянов, **А. В. Кайчен**ов, А. В. Власов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «МГТУ»).

39. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616010 Российская Федерация. Оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья. Программа поиска оптимума : № 2015612575 : заявл. 03.04.2015 : опубл. 29.05.2015 / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, **А. В. Кайчен**ов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

40. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616035 Российская Федерация. Оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья. Программа построения графиков : № 2015612577 : заявл. 03.04.2015 : опубл. 29.05.2015 / И. Ю. Селяков, А. А. Маслов, **А. В. Кайчен**ов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

41. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616036 Российская Федерация. Оптимизация режимов релаксации в ходе процессов обезвоживания рыбного сырья. Программа подсчета экономии электроэнергии : № 2015612576 : заявл. 03.04.2015 : опубл. 29.05.2015 / И. Ю. Селяков, А. А.

Маслов, **А. В. Кайчен**ов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

42. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663200 Российская Федерация. Модуль расчета параметров воды в модели автоклава на шаге квантования : № 2015660197 : заявл. 27.10.2015 : опубл. 14.12.2015 / А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

43. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663349 Российская Федерация. Модель автоклава для тренажера процесса стерилизации : № 2015660218 : заявл. 27.10.2015 : опубл. 16.12.2015 / А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

44. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663374 Российская Федерация. Модуль расчета параметров воздушной среды в модели автоклава на шаге квантования : № 2015660194 : заявл. 27.10.2015 : опубл. 16.12.2015 / А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

45. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663377 Российская Федерация. Модуль макросов для модели автоклава : № 2015660200 : заявл. 27.10.2015 : опубл. 16.12.2015 / А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, И. Ю. Селяков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

46. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ IP 320 для универсальной коптильно-сушильной установки №2012611077, 26.01.2012 г., Российская Федерация / **А. В. Кайчен**ов, А.А. Маслов, И.Ю. Селяков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

47. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ PID_TEMP для универсальной коптильно-сушильной установки №2012611139, 27.01.2012 г., Российская Федерация / **А. В. Кайчен**ов, А.А. Маслов, И.Ю. Селяков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

48. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ PLC_PRG для универсальной коптильно-сушильной установки №2012615578, 20.06.2012 г., Российская Федерация / **А. В. Кайчен**ов, А.А. Маслов, И.Ю. Селяков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

49. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Вычисление адресов регистров CoDeSys для панели оператора «ОВЕН» СП270 по структуре данных №2012615411, 15.06.2012 г., Российская Федерация / А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, А.Р. Власова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

50. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Моделирование временной зависимости температуры в дымогенераторе в процессе его работы №2012615580, 20.06.2012 г., Российская Федерация / А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, А.Р. Власова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

51. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Моделирование звена задержки №2012615579, 20.06.2012 г., Российская Федерация / А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, А.Р. Власова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

52. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Модуль расчета потерь массы сырья № 2014617595, 28.07.2014 г., Российская Федерация / **А. В. Кайчен**ов, А. Р. Власова, И.Ю. Селяков и др. ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

53. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Модуль подсчета, электроэнергии затраченной на технологический процесс № 2014617422, 21.07.2014 г., Российская Федерация / **А. В. Кайчен**ов, А. Р. Власова, И.Ю. Селяков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

54. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Модуль задания режимов релаксации № 2014660787, 15.10.2014 г., Российская Федерация / **А. В. Кайчен**ов, А. Р. Власова, И.Ю. Селяков и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

55. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Программа управления секциями установки для поиска оптимальных технологических режимов №2014617478, 23.07.2014 г., Российская Федерация / **А. В. Кайчен**ов, А. Р. Власова, И.Ю. Селяков и др.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

56. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Расчет шага методом Рунге-Кутты 4-го порядка для инерционных звеньев 1-го и 2-го порядков №2012615581, 20.06.2012 г., Российская Федерация / А. В. Власов, **А. В. Кайчен**ов, А.Р. Власова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «МГТУ»).

Монографии

57. **Кайчен**ов **А.В.**, Благовещенский И.Г. Комплексная модернизация систем управления процессами тепловой обработки водных биоресурсов Арктики с использованием интеллектуальных технологий: монография / к.т.н. Кайчен А.В, д-р техн. наук Благовещенский И.Г. – Курск: Изд-во ЗАО "Университетская книга", 2022. – 254 с.

Конференции

58. **Кайчен**ов **А.В.** Автоматическая система управления микроклиматом на базе микропроцессорных регуляторов «ОВЕН». Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2007» – Мурманск: МГТУ, 2007.

59. **Кайчен**ов **А.В.** Микропроцессорная система управления на основе отечественных средств. Труды VI юбилейной международной научной конференции «Инновации в науке и образовании -2008», посвященной 50-летию пребывания КГТУ на Калининградской земле – Изд-во КГТУ, 2008.

60. **Кайчен**ов **А.В.** Разработка автоматической системы управления универсальной копильно-сушильной установкой. Материалы Международной научно-технической конференции «Наука и образование – 2010» – Мурманск: МГТУ, 2010.

61. **Кайчен**ов, **А. В.** Модернизация системы автоматического управления сушильной установкой / А. В. Кайчен, Г. И. Борщов, И. Ю. Селяков // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 18–20 апреля 2018 года. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2018.

62. **Кайчен**ов, **А. В.** Разработка Web-визуализации системы автоматического управления процессом стерилизации пищевых продуктов / А. В. Кайчен, В. В. Яценко, А. И. Кайчен, А. И. Кайчен // Наука - производству : Материалы международной научно-практической конференции, Мурманск, 18–20 апреля 2018 года. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2018.

63. **Кайчен**ов **А.В.**, Благовещенский И.Г. др. Разработка систем автоматизации технологических процессов переработки водных биологических ресурсов Арктики на основе интеллектуальных технологий. Сборник научных докладов III Международной конференции-выставки (29 марта 2022 года) - Курск: Изд-во ЗАО "Университетская книга", 2022.